VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

SNÍŽENÍ NÁKLADŮ NA VÝROBU ODLITKU LITÉHO TLAKOVÝM LITÍM POMOCÍ APLIKACE VYSOKOTEPLOTNÍHO SEPARÁTORU

COST REDUCTION OF A DIECAST CASTING BY MEANS OF HIGH TEMPERATURE SEPARATOR

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE Bc. Jiří Koplík
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE doc. Ing. Jaromír Roučka, CSc.
SUPERVISOR

BRNO 2017

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	**Bc. Jiří Koplík**
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Slévárenská technologie
Vedoucí práce:	**doc. Ing. Jaromír Roučka, CSc.**
Akademický rok:	2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Snížení nákladů na výrobu odlitku litého tlakovým litím pomocí aplikace vysokoteplotního separátoru

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Obvykle používané separátory uplatňované při tlakovém lití hliníkových odlitků je nutno nanášet při poměrně nízkých teplotách kovových forem. To vyvolává zvýšené náklady na temperaci forem. Práce má ověřit technologii a ekonomickou efektivnost používání vysokoteplotních postřiků.

Cíle diplomové práce:

Optimalizace výroby tlakových odlitků při použití vysokoteplotního separátoru. Optimalizace výrobního cyklu, porovnání nákladů a produktivity výroby ve srovnání s dosud používanými typy separátorů.

Seznam doporučené literatury:

ROUČKA, J. Metalurgie neželezných slitin. Akademické nakladatelství CERM, 2004, ISBN 80-21--2790-6.

ANDREONI, L., M. CASE, G. POMESANO. The preassure die casting process. Brescia, EDIMET, 1996, ISBN 88-86259-13-1.

Encyklopedie hliníku. Děčín: Alcan Děčín Extrusions, 2005. ISBN 80-89041-88-4.

Aluminium Permanent Mold Handbook. AFS Des Plaines, 2001. ISBN 0-87433-250-8.

Aluminium Castig Technology. American Foundrymen´s Society, Des Plaines, Illinois. 1993. ISBN 0-87433-157-9.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc. ředitel ústavu	doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D. děkan fakulty

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na nové technologie při odlévání odlitků vysokotlakým litím. V práci je věnovaná pozornost zejména ohřevu, chlazení a vlivu separátoru na životnost formy a kvalitu odlitků. V praktické části byly aplikovány teoretické poznatky v praxi. Byla provedena optimalizace výrobního cyklu za použití vysokoteplotního dělícího prostředku a jeho následné vyhodnocení při výrobě tvarově náročného odlitku ve slévárně KOVOLIT Modřice a.s.

Klíčová slova

Vysokotlaké lití, vysokoteplotní separátor, dělící prostředek, technologie postřiku forem, temperace, forma, vady formy, optimalizace výroby tlakového odlitku

Abstract

The diploma thesis is focuses on new technology in of high pressure die casting industry. Attention is paid in particular to heating, cooling and the influence of the die lubricants on the quality of castings. theoretical knowledge was applied in practise. The optimization of the production cycle was carried out using a high temperature die lubricant and subsequent evaluation on particular casts in foundry KOVOLIT Modřice a.s.

Key words

High pressure die casting, high temperature die lubricant, die lubricant, die spraying technology, mould temperature regulation, die, defects of die

Bibliografická citace

KOPLÍK, Jiří. *Snížení nákladů na výrobu odlitku litého tlakovým litím pomocí aplikace vysokoteplotního separátoru*. Brno, 2017, 74 s. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Jaromír Roučka, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Snížení nákladů na výrobu odlitku litého tlakovým litím pomocí aplikace vysokoteplotního separátoru vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum: 22.5.2017 v Brně

…….

Bc. Jiří Koplík

Poděkování

Děkuji doc. Ing. Jaroslavu Roučkovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce. Děkuji také celému technologickému oddělení z firmy Kovolit Modřice a.s. za poskytnuté materiály a možnost provedení zkoušky.

Obsah

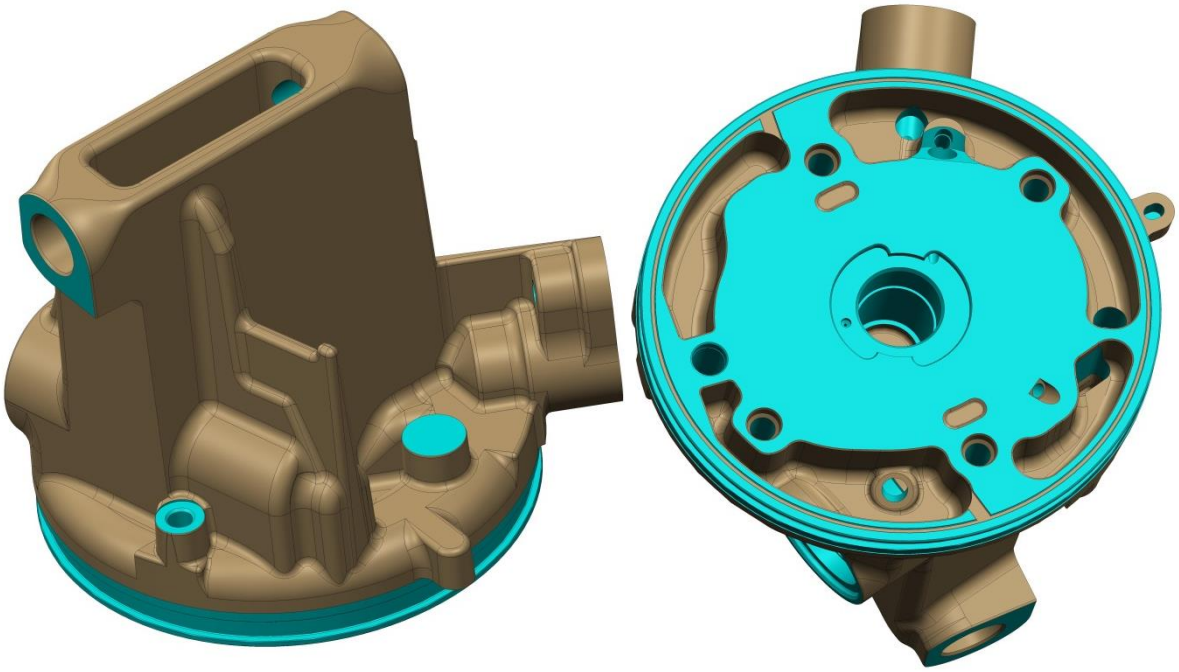
1 Úvod

Slévárny tlakového lití a jejich technologie tvoří samostatný obor v celém slévárenství, který se výrazně odlišuje od klasické výroby odlitků do pískových forem. Tato metoda nachází uplatnění při výrobě velkého množství odlitků z důvodu vysokých počátečních nákladů.

Tlakové lití je průmyslová metoda produkce odlitků především pro automobilový, motocyklový a elektrotechnický průmysl, ale také pro další průmyslová odvětví, kde je potřeba velkého množství odlitků jednoho druhu, především ze slitin hliníku, hořčíku a zinku. S rychle se rozvíjejícím zejména automobilovým průmyslem jsou na odlitky kladeny stále vyšší nároky. Odlévány jsou čím dál více komplikovanější součásti, jako jsou například bloky motorů nebo tzv. strukturální odlitky, které nahrazují několik dílů, které byly dříve svařovány.

Výrobu těchto náročných odlitků ovlivňuje celá řada různých faktorů, které jsou závislé na přípravě kvalitní taveniny, parametrech lisovacího stroje, dokonalé konstrukci formy.

Tato diplomová práce je zaměřena zejména na ohřev, chlazení a ošetření formy dělicím prostředkem, což bývá často podceňovaným faktorem při samotné výrobě odlitků, který má značný vliv na jejich výslednou kvalitu. V práci je věnována pozornost důležitým teoretickým poznatkům z oblasti tlakového lití, zaměřené na vlastnosti a chování formy ovlivněné použitým dělicím prostředkem. Cílem práce bylo na tvarově náročné součásti dílu do klimatizace optimalizovat výrobní cyklus odlitku s použitím vysokoteplotního separátoru a následně vyhodnotit úspory pro daný odlitek. Zkoušky byly provedeny ve slévárně KOVOLIT Modřice a.s.



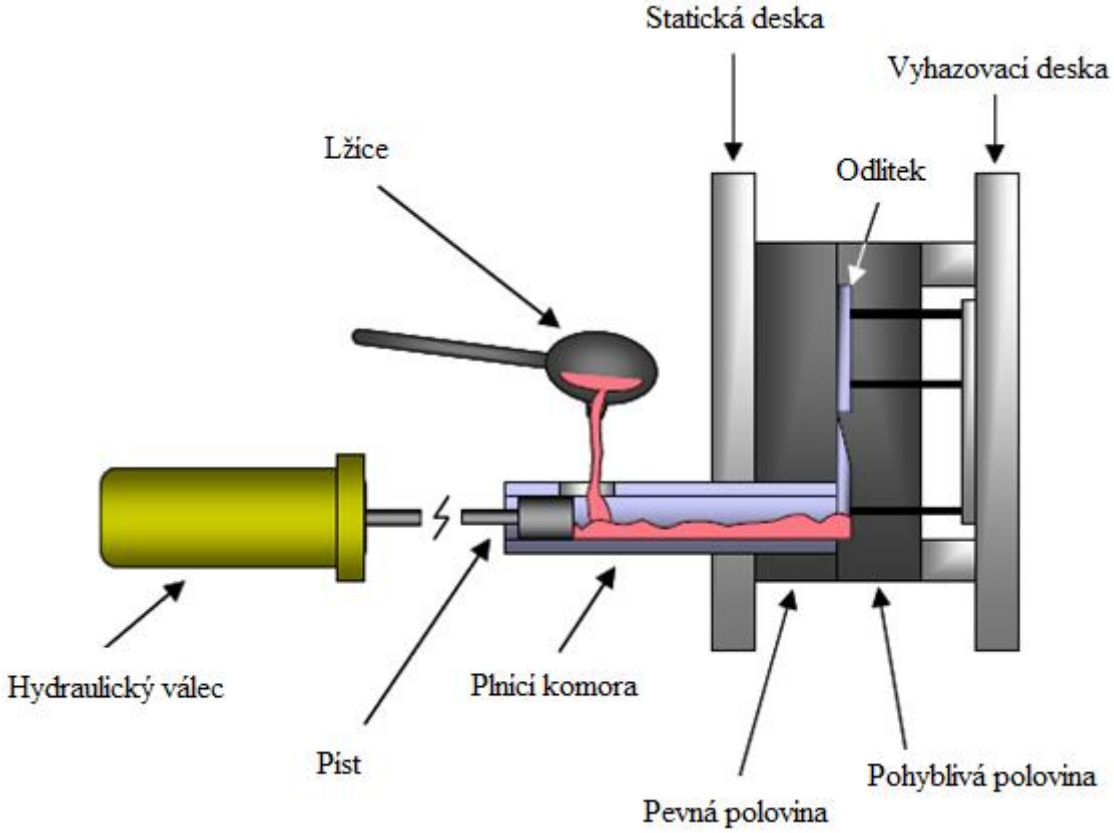
Obr. 1 3D model odlévaného dílu.

2 Vysokotlaké lití

Výroba odlitků metodou vysokotlakého lití patří mezi technologie „netshape" („na hotovo"). Vyráběné odlitky jsou velmi blízké hotovým výrobkům. Jde o specifickou metodu vhodnou pro výrobu velkých sérií rozměrově i hmotnostně menších tenkostěnných konstrukčně složitých odlitků s přesnými rozměry, s tloušťkou stěn přibližně od 1–2 mm. Za určitých podmínek, u některých slitin i méně než 1 mm, s velmi hladkými povrchy, především ze slitin neželezných kovů. [1, 2, 3]

Tlakové licí stroje umožňují upevnění nepohyblivé části formy, pohyb pohyblivé poloviny kovové formy, dokonalé sevření obou částí forem a plnění dutiny formy taveninou s teplotou nižší, než je teplota likvidu dané slitiny, vysokým tlakem vyvinutým hydraulicko pneumatickým pístem. Charakteristickým znakem dané metody je plnění dutiny formy vysokou rychlostí přes vtokovou soustavu s velmi malými průřezy. Tvar odlitku musí respektovat možnosti rozebrání formy a vytažení jader. Velká část otvorů se předlévá. Před litím je možné do forem vkládat kovové zálitky. [2, 3]

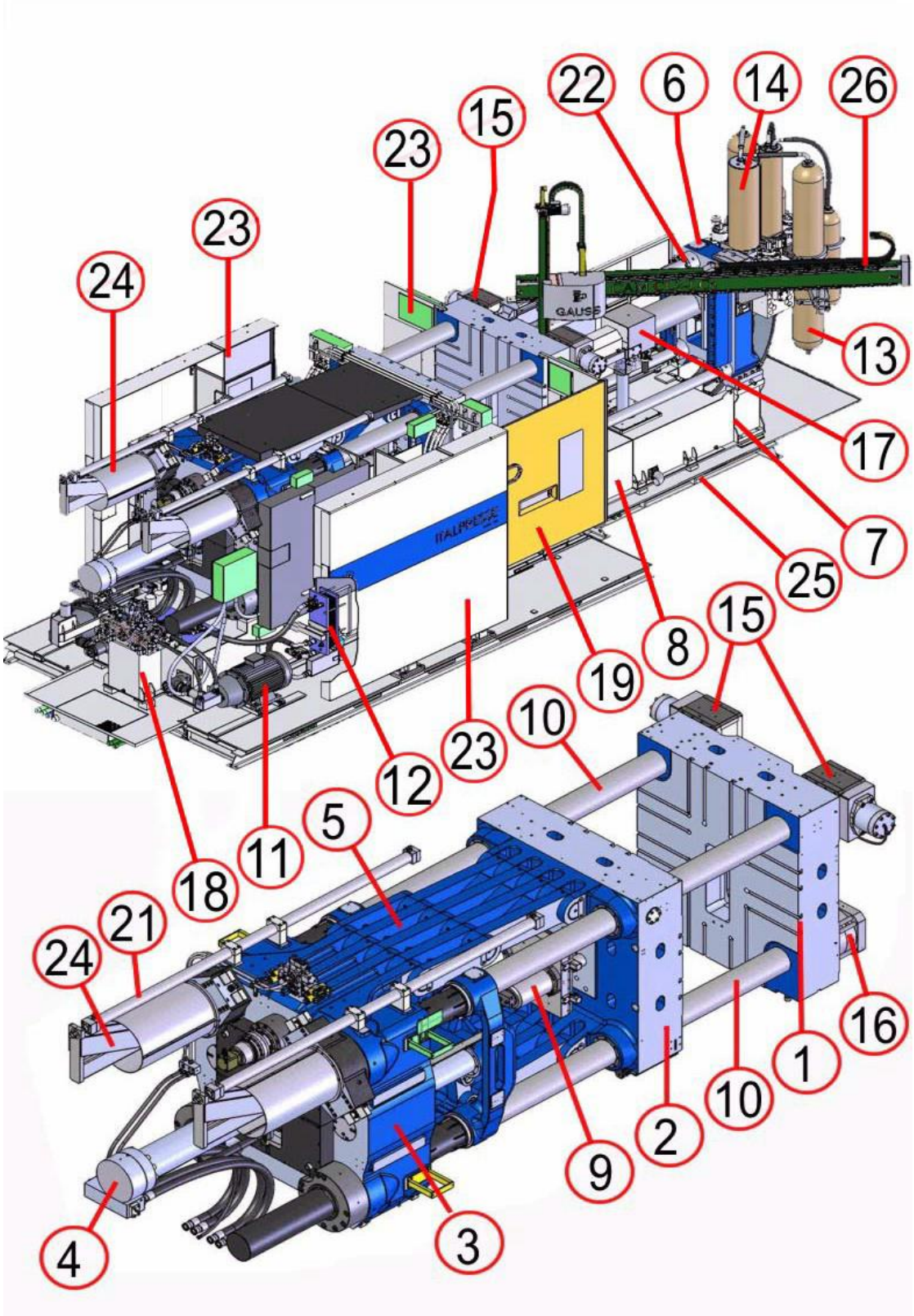
Maximální velikost odlitku, která se na konkrétním stroji dá vyrobit, je limitována uzavírací silou stroje a částečně hmotností vstřikovaného kovu. Z uzavírací síly a plnícího tlaku lze stanovit maximální přípustnou plochu odlitku v dělicí rovině. Současně největší stroje dosahují uzavírací síly až 44 MN. [2]



Obr. 2 Schéma tlakového licího stroje se studenou komorou. [4]

Dle konstrukce se tlakové licí stroje dělí na dva základní typy se studenou a teplou komorou a podle směru pohybu plnicího pístu na stroje se svislou nebo vodorovnou komorou. Slitiny hliníku se v současné době odlévají téměř výhradně na strojích se studenou horizontální komorou. Schéma vysokotlakového stroje je znázorněno na obr. 2. [2]

2.1 Popis vysokotlakého licího stroje



Obr. 3 Popis vysokotlakého licího stroje. [5]

Tabulka 1. Popis pozic vysokotlakého licího stroje. [5]

Pozice	Popis
1	Pevná deska
2	Pohyblivá deska
3	Plocha válce
4	Válec zavírání
5	Kolenová páka
6	Příčník vstřikování
7	Základna vstřikovací jednotky
8	Základna zavírací jednotky
9	Jednotka centrální extrakce
10	Sloupky stroje
11	Silová jednotka
12	Klimatizační zařízení hydraulického oleje
13	Akumulační tlakové lahve
14	Pístový akumulátor
15	Zařízení automatického zablokování vytahovacího sloupu (volitelné)
16	Zajišťovací matice spodních sloupů
17	Vstřikovací válec
18	Hydraulická jednotka
19	Automatická dvířka zadní strany
20	Automatická dvířka přední strany
21	Válec vytažení sloupků (volitelné)
22	Sloupy vstřikování
23	Pevná ochrana
24	Jednotka vytažení horního sloupu
25	Vana pod základnou
26	Nakladač kovu

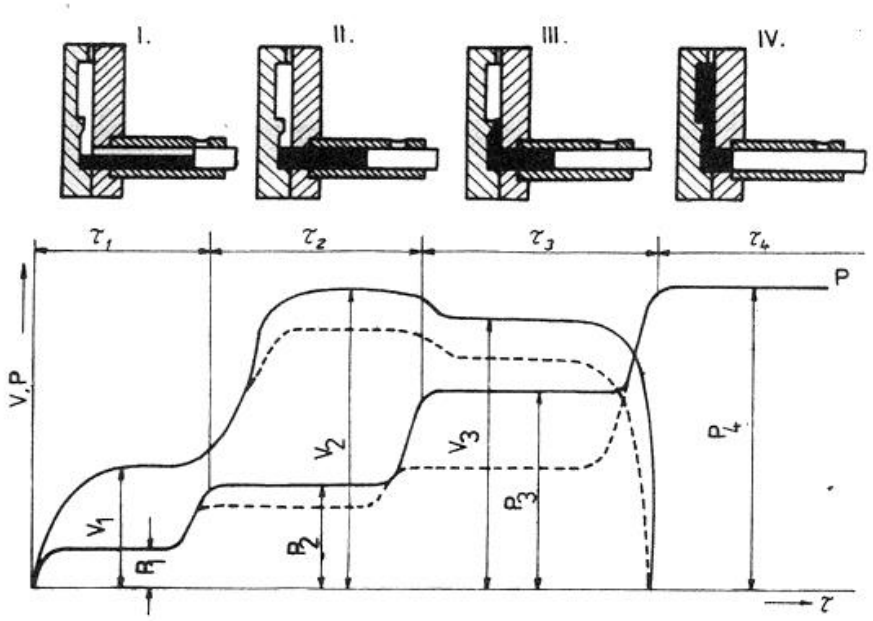
2.2 Fáze vysokotlakého lití

Cyklus výroby odlitku začíná ošetřením dělicí roviny formy a uzavřením stroje. Dalším krokem je nadávkování kovu do licí komory. Dávkování může být prováděno manuálně, u současných strojů je však automatické a lze jej realizovat buď plnicí lžící, nebo pneumatickým dávkovacím zařízením z udržovací nebo dávkovací pece, která je součástí každého pracoviště tlakového stroje. [2]

Roztavený kov se vtlačuje do dutiny slévárenské formy pístem. Podle velikosti stroje lze vyvodit vstřikovací tlak o hodnotě 2 až 500 MPa. [6]

Plnění dutiny formy roztaveným kovem při tlakovém lití prochází několika fázemi:

1. Při začátku vstřikování zajíždí píst, který lisuje tekutý kov, z komory do formy pomalou rychlostí, aby nedošlo k vystříknutí kovu z dávkovacího otvoru. Píst se pohybuje rychlostí cca 0,1–0,4 m/s. Zakryje dávkovací otvor, pokračuje dále, až se tekutý kov dostane do blízkosti nařiznutí a plnící komora je úplně zaplněna roztaveným kovem. Tento pohyb pístu je označován jako pohyb vpřed a má zajistit, aby se kov nezvířil a neabsorboval vzduch, který se nachází v licí komoře. [7]
2. Ve druhé fázi píst akceleruje na vyšší rychlost, kde tekutý kov protéká přes nařiznutí do dutiny formy. Teoreticky by start této fáze měl nastat na dráze pístu, kdy kov dosáhl vtokového nařiznutí. V praxi bývá začátek fáze lisování jak před nařiznutím, tak i za nařiznutím do odlitku. Tento druhý pohyb pístu se nazývá zdvih plnění nebo lisování. Rychlost pohybu pístu v této fázi je cca 2–4m/s. Dochází také k nárůstu plnícího tlaku 60 až 120 bar. Fáze lisování trvá až do úplného zastavení pístu, kdy je dutina formy kompletně zaplněná kovem. [7, 8]
3. Poslední nárůst tlaku vznikne po zaplnění dutiny formy. Tento konečný tlak podporuje zhutnění tuhnoucího odlitku a je označován jako dotlak. Maximálního tlaku 400 až 1 200 bar po dobu 5 až 20 sekund je dosaženo pomocí multiplikátoru, který je součástí lisovací jednotky tlakového licího stroje. Jedná se o konečné zhutnění odlitku s cílem eliminovat staženiny během tuhnutí. Je důležité, aby dotlak nastal ihned po zaplnění a nedošlo dříve ke ztuhnutí vtokového kanálu a nařiznutí. Toho lze dosáhnout na strojích s řízeným lisováním v reálném čase. [7, 8]



Obr. 4 Průběh tlaku a rychlosti v dutině formy. [4]

3 Slitiny hliníku

3.1 Slévárenské slitiny hliníku

Technicky čistý hliník má velmi špatné mechanické a slévárenské vlastnosti, a proto se k výrobě používá výjimečně. V tlakovém lití se využívají slitiny hliníku. Hlavními přísadovými prvky ve slévárenských slitinách hliníku jsou křemík, měď a hořčík, výjimečně také zinek a mangan. Podle obsahu těchto prvků se slitiny hliníku dělí na základní typy s obvyklými názvy: [2, 9]

- slitiny Al-Si – **siluminy;**
- slitiny Al-Cu – **duralalumin;**
- slitiny Al-Mg – **hydronalium.** [2]

3.2 Požadavky kladené na slitinu hliníku

Pro pochopení vlastností slitin hliníku je velmi důležité znát vliv různých prvků, které ovlivňují následující slévárenské a technologické vlastnosti: [1]

- **Slévárenské vlastnosti** – zabíhavost, odolnost vůči vzniku trhlin za tepla, malý interval krystalizace, dobré vlastnosti pro tlakové lití. Dobrá slévatelnost, která se výrazně zlepšuje se zvyšujícím se podílem příslušného eutektika podle chemického složení. [3]
- **Požadované mechanické vlastnosti** – pevnostní a plastické vlastnosti, tvrdost. [3]
- **Sklon ke vzniku staženin** – charakterizuje objemový úbytek kovu během tuhnutí a tendenci ke vzniku soustředěných (vnitřních nebo vnějších) staženin nebo rozptýlených staženin a ředin. Takové odlitky vykazují horší těsnost. [2]
- **Chemické vlastnosti** – odolnost vůči korozi, možnost povrchové úpravy. U hliníkových slitin je odolnost vůči korozi výrazně zhoršována přítomností Cu. [3]
- **Vlastnosti hotových výrobků** – schopnost bránit pronikání tlakového média – plynu nebo kapaliny – skrze stěny odlitku. Rozměrová a teplotní stabilita. [2, 3]
- **Obrobitelnost** – slitiny s hlavními legujícími prvky mědí, hořčíkem nebo zinkem jsou velmi dobře obrobitelné. Slitiny, které mají jako hlavní legující prvek křemík, vyžadují odlišné nastavení řezných podmínek. [3]
- **Leštitelnost** – možnost povrchových úprav charakterizuje schopnost povrchového zpracování odlitků. Velmi častou metodou zpracování povrchu je u slitin hliníku anodická oxidace. [2]
- **Ekonomické faktory** – náklady na mechanické obrábění, tavení a lití. [3]

3.3 Požadavky kladené na odlitky ze slitiny hliníku

Do značné míry se nároky na vysokotlaké odlitky odvíjejí podle použité slitiny a požadavků zákazníka. Z možností, které technologie vysokotlakého konvenčního lití nabízí, lze obecně říci, že od odlitků vyráběných touto metodou požadujeme: [2]

- vysokou rozměrovou a povrchovou přesnost;
- tvarovou složitost;
- tenkostěnnost;
- mez pevnosti R_m [MPa]: 200 až 240;
- tvrdost HB [-]: 70 až 80;
- nízkou hmotnost;
- korozní odolnost;
- odolnost proti vzniku prasklin;
- ekonomickou efektivitu. [2]

3.4 Vliv hliníkové slitiny na výslednou kvalitu odlitku

Výsledná kvalita odlitku je ovlivněna již samotným výběrem hliníkové slitiny. Správně zvolená slitina by měla splňovat výše uvedené požadavky v mezích předepsaných zákazníkem. Finální kvalita samotné slitiny je poté v průběhu procesu výroby ovlivněna metalurgickým postupem. Aby bylo dosaženo požadované kvality, je potřeba následující procesy dodržovat dle předpisu: [10]

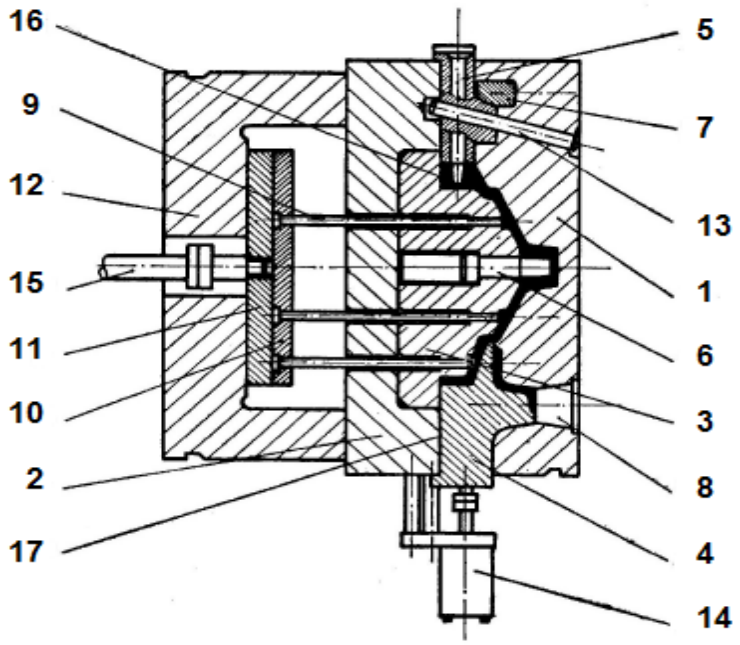
- volba licí teploty;
- tavení slitiny;
- rafinace slitiny;
- očkování slitiny;
- odplynění slitiny;
- modifikace slitiny. [10]

4 Forma

Při výrobě odlitků tlakovým litím jsou kladeny vysoké nároky na materiál a technické zpracování formy. Pracovní dutina formy se plní vysokým tlakem, který způsobuje vysokou rychlost taveniny v naříznutí vtokové soustavy. Materiál formy musí odolávat fyzikálním, chemickým i mechanickým vlivům taveniny. [3]

Forma pro tlakové lití se obvykle skládá ze dvou desek:

- z pevného dílu, který je upnutý na pevném nosiči forem a je nepohyblivý, v této části formy je proveden vtok;
- z pohyblivého dílu, který se spolu s nosičem forem pohybuje po horizontálních vodicích sloupech, které rovněž zajišťují přesné složení obou dílů před vlastním odléváním a uzavírací silou zamezují oddálení obou dílů při lití. [3]



Obr. 5 Popis formy 1 – Pevná polovina formy, 2 – Pohyblivá polovina formy, 3 – Pevná vložka v polovině formy, 4 a 5 – Pohyblivé jádro, 6 – Pevné jádro, 7 – Kalená opěrná vložka zámku, 8 – Dutina pro plnicí komoru, 9 – Vyhazovač odlitku, 10 – Vodicí deska vyhazovačů, 11 – Opěrná deska, 12 – Upínací skříň formy, 13 – Šikmý kolík, 14 – Hydraulický tahač jádra, 15 – Středový čep vyhazovačů, 16 – Dutina formy, 17 – Dělicí rovina formy. [11]

4.1 Konstrukce formy

Na konstrukci formy jsou kladeny vysoké nároky a ovlivňují ji následující faktory: [12]

- množství požadovaných odlitků celkem a za rok;
- druh odlévané slitiny;
- požadovaná rozměrová přesnost, tloušťky stěn, úkosy, zaoblení, umístění značení a další technické požadavky;
- násobnost formy;
- zaformování kusu, volba dělicí roviny;
- směry pohybu pohyblivých jader, opěry odlitku při vytahování jader;
- způsob vyhazování, umístění vyhazovačů a poloha stop po vyhazovačích;
- velikost licího stroje vzhledem k potřebné uzavírací síle a licímu tlaku, velikosti formy a rozložení tahačů jader;
- volba průměru plnicí komory, uspořádání vtokového systému;
- umístění, nasměrování a průřez vtokového naříznutí;
- způsob odvzdušnění, příp. vakuování formy;
- chlazení, případně temperování formy zvláště s ohledem na vnitřní kvalitu odlitku;
- umístění a zabudování případných zhutňovačů;
- způsob ošetření formy a nanesení dělicího prostředku;
- způsob vyjímání odlitků z formy;
- volba materiálu a zpracování tvarových částí s ohledem na požadovanou životnost;
- náročnost čištění, údržby a rychlá vyměnitelnost některých dílů formy atd.

4.2 Výroba tlakových forem

Výrobu forem pro tlakové lití odlitků si bez výpočetní techniky snad už ani nedovedeme představit. Konstrukce a následná výroba formy je prováděna metodou CAD/CAM, která zpřesnila a velice urychlila celý proces výroby formy. Základem je používání kvalitních přetavovaných ocelí a jejich tepelné zpracování. Nejvíce času vyžaduje výroba tvarových částí formy. Rychlý průběh výroby dílů formy při zajištění vysoké přesnosti umožňuje obrábění na CNC strojích. Použitím kvalitních obráběcích nástrojů se obrábí některé tvary až po tepelném zpracování, tj. po zakalení tvarové vložky. U hlubších tvarů se využívá elektroerozivní obrábění grafitovými elektrodami. Pro urychlení výroby formy jsou některé díly nakupovány u specializovaných firem, jako například rámy, normalizované vyhazovače, pouzdra, kolíky, případně jádra, a to i se speciální chemicko-tepelnou úpravou povrchu proti zadírání a nalepování kovu. Tvarové díly jsou v průběhu výroby kontrolovány na 3D měřicích přístrojích. [12]

Po obrábění musí být forma tepelně zpracována, aby se dosáhlo vyšší meze kluzu, tvrdosti, houževnatosti, odolnosti proti temperaci a tažnosti. Celý proces je řízen teplotami kalení a dobou a rychlostí chlazení. Vysoká austenitická teplota má pro formu pozitivní vliv na mez pevnosti a odolnost proti změkčování. Nízkou rychlostí kalení je dosahováno co nejlepší možné rozměrové stability, ale nastává zde riziko vzniku nežádoucí změny v mikrostruktuře a sníží se houževnatost. Vysoká rychlost zachlazení poskytuje nejlepší možnou strukturu a následně i životnost formy. Po kalení by vždy mělo proběhnout popouštění. [13]

Podle potřeby se tvarové vložky a jádra plazmově nitridují, a to zpravidla až při optimalizaci formy po její první zkoušce nebo po nulté sérii. V případě nitridace se neprovádí mezižíhání k odstranění vnitřního pnutí. Nitridace má příznivý účinek zejména na odolnost vůči erozi a lepení na kritických místech, jako jsou vtoky, naříznutí, jádra a vyhazovače. Různé oceli mají různé nitridační vlastnosti v závislosti na chemickém složení. [12, 13]

Životnost formy se podstatně liší v závislosti na velikosti, složitosti a provedení odlitku, druhu slitiny, na nastavení licích podmínek, péči a údržbě formy. Dosažení požadované životnosti formy je kromě kvalitního a garantovaného materiálu a jeho tepelného zpracování podmíněno dalšími vlivy: [12, 33]

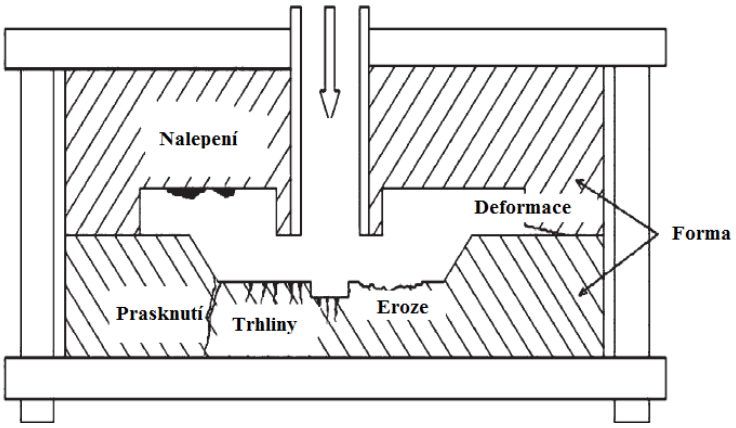
- úprava odlitku pro tlakové lití v souladu se zásadami správného konstruování, které vyhovuje technologii lití s ohledem na druh odlévané slitiny (tloušťka stěn, tepelné uzly, zaoblení hran, úkosy atd.);
- řešení zaformování odlitku tak, aby byl při otevírání formy unášen s pohyblivou částí formy a při vyjíždění pohyblivých jader nebyl deformován;
- provozní podmínky při odlévání, temperování formy, použití nižších tlaků při odlévání do vakuované formy, plynulost výroby;
- důsledné provádění mezižíhání tvarových vložek a jader k odstranění vnitřního pnutí po zalisování předepsaných počtů odlitků;
- zajištění potřebné tuhosti formy konstrukčním řešením vzhledem k zatížení uzavírací a lisovací síly licího stroje;
- pečlivá údržba, čistění formy a chladicího systému, přetryskání dutiny po výrobní sérii;
- při opravách a údržbě formy jsou využívány různé metody navařování: např. metoda TIG přídavným drátem z legované oceli v oblouku mezi wolframovými elektrodami v ochranné atmosféře argonu. Na jemnější tvary a hrany se použijí mikrosvářečky nebo laserové mikrosvářečky;
- ke zvýšení odolnosti proti nalepování kovu nebo vymývání kovem se povrch formy u naříznutí ztvrzuje najiskřením wolfram-karbidovými elektrodami. [12, 14]

4.3 Materiál formy

Materiály, které se používají pro formy u vysokotlakého lití jsou nejčastěji vysokolegované, žáropevné a žáruvzdorné oceli, kalené na vzduchu, oleji nebo vodě, s martenzitickou strukturou. Zmíněné materiály obsahují 0,3–0,4 % uhlíku a jako další dominantní prvky jsou chrom, molybden a vanad. [1, 3, 7]

4.4 Vady vznikající na formě

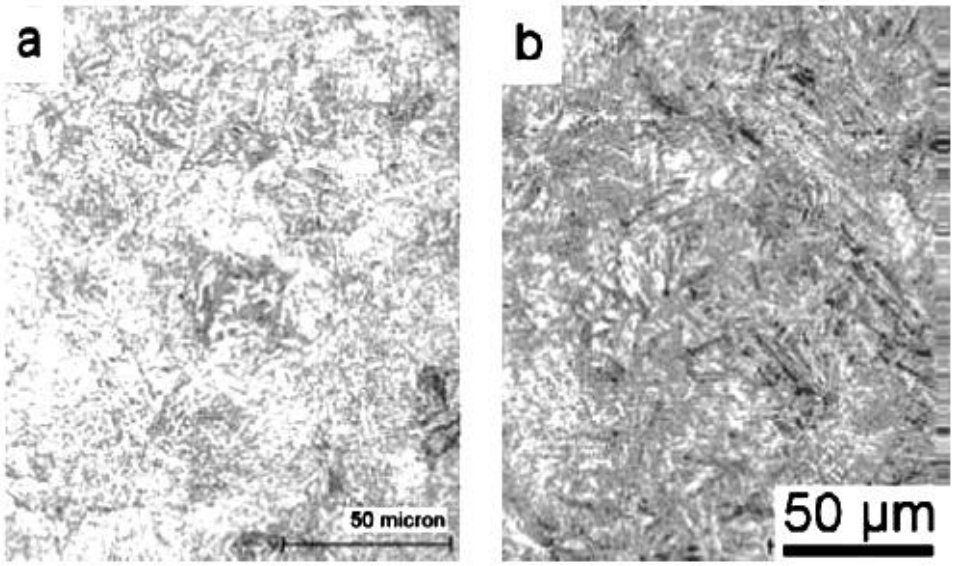
Formy jsou neustále vystaveny vysokým mechanickým, tepelným a chemickým zatížením, které po určité době způsobují různé povrchové vady. V důsledku těchto zatížení se pak objevují trhliny, eroze způsobené tokem kovu, koroze, letované spoje, deformace tvaru, netěsnost formy a může vzniknout i lom formy. Tyto vady se pak odráží na vzhledu a vlastnostech výsledných odlitků. [15]



Obr. 6 Schéma vad, které se mohou vyskytovat ve formě. [15]

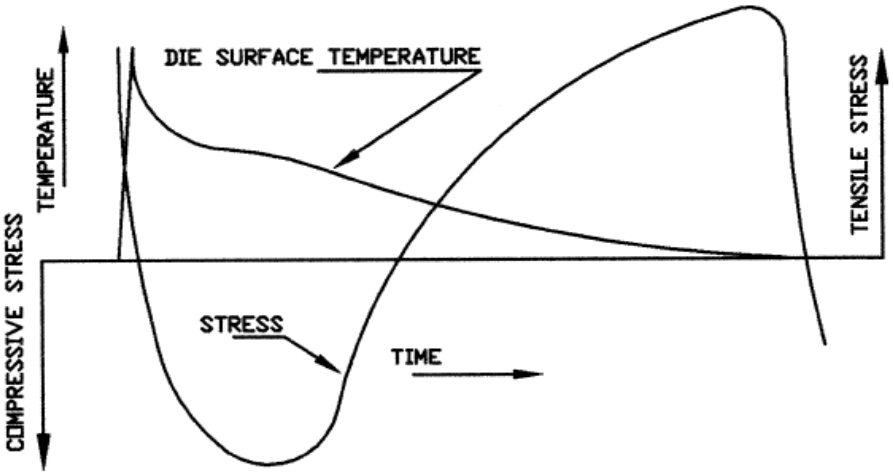
4.4.1 Trhliny

Tvrdý povrch odolný proti opotřebení je vynikající pro použití u vysokotlakého lití, i přestože martenzitická struktura je křehká. Díky vysokým teplotním změnám probíhajícím při každém cyklu dochází často k trhlinám na povrchu formy. Trhliny způsobuje objemová expanze, vniknutím přehřáté taveniny a následně rychlým poklesem teploty, při tuhnutí odlitku. Nicméně v průběhu cyklu teplota jádra a okolí zůstává relativně stabilní, což koncentruje napětí na tenké vrstvě na rozhraní mezi odlévanou slitinou a povrchem ocelové formy. Tato vrstva je obvykle jen pár milimetrů hluboká. K iniciaci trhlin dochází postupem času kvůli vysokým teplotám taveniny, které vedou k temperování martenzitické struktury a poklesu tvrdosti, čímž dochází ke snížení odolnosti materiálu proti praskání. Na obr. 7 je zachycena mikrostruktura v blízkosti povrchu formy [15].



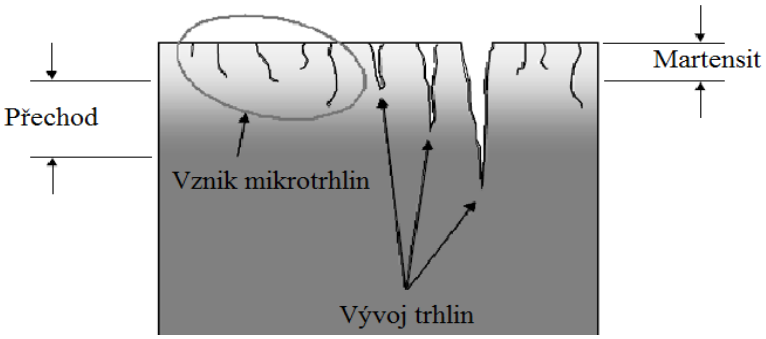
Obr. 7 Mikrostruktura formy a) pod povrchem, b) 3 mm pod povrchem. [15]

Největší trhliny se často objevují kolem naříznutí, jelikož se jedná o místo s nejvyššími teplotami, a k prvním trhlinám může docházet již velmi brzy. Vnější mazání a chlazení formy má největší vliv na trhliny, protože dochází opakovaně k tahovému napětí v tenké povrchové vrstvě. Vztah, který je mezi teplotou a napětím formy v závislosti na čase, je graficky znázorněn na obr. 8.



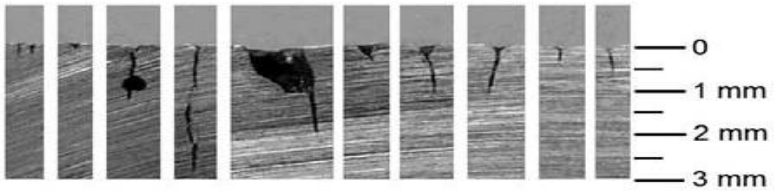
Obr. 8 Graf zobrazující vztah mezi teplotou a napětím formy v závislosti na čase. [1]

Časem vzniknou mikrotrhliny, které dál vedou k velkým trhlinám, a kov může začít penetrovat do formy obr. 9. Jakmile se kov dostane do mezery, jsou patrné malé žilky na povrchu odlitku. V mnoha případech se nejedná o závažnou vadu, ovšem pro součásti, u nichž je předepsána vysoká kvalita povrchu odlitku, je následná oprava velmi nákladná a je potřeba sekundární dokončování (leštění). [1, 10, 15]



Obr. 9 Iniciace trhlin ve formě a následný růst. [1]

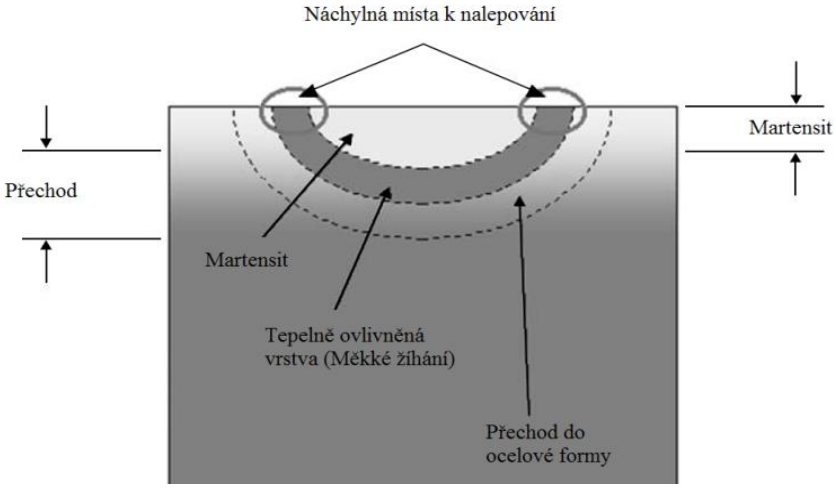
Bez ohledu na vzhled povrchu odlitku jsou trhliny důvodem k výměně forem nebo vložek, jelikož postupem času mohou mít praskliny vliv na rozměrovou stálost odlitku. Pokud jsou předepsány vysoké nároky na čistotu povrchu, používají se vložky, které se dají snadno vyměnit. [1]



Obr. 10 Výbrus přes tvarově tepelně namáhané části, kde vznikly trhliny. [15]

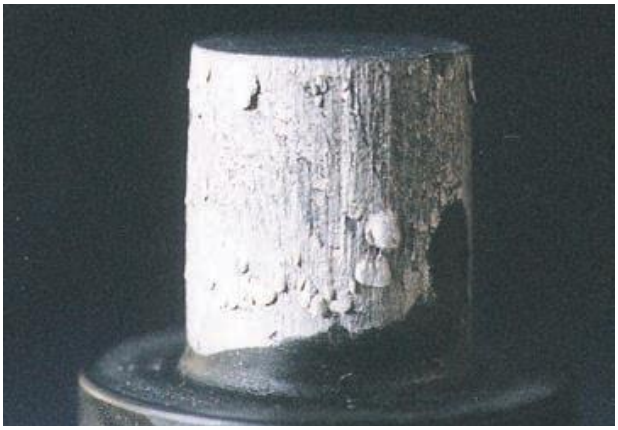
4.4.2 Letování

Dalším problémem, který může nastat, je letování. K tomuto jevu dochází mezi povrchem odlitku a formou během solidifikace, což často vede k trvalému poškození jak odlitku, tak i povrchu formy. K letování obvykle dochází na horkých místech na povrchu formy. Častým příkladem bývají nechlazená jádra a místa, která jsou vystavena přímému proudu kovu z naříznutí. [1]



Obr. 11 Průřez povrchem znázorňující nedostatky mikrostruktury v tepelně ovlivněné zóně. [1]

Oblasti forem opravených svařováním jsou také náchylné k letování. Při opravě se často mění odolná martenzitická vrstva na měkký žíhaný povrch. Tyto žíhané oblasti jsou potom mnohem více náchylné k letování. K zabránění letování mohou existovat různé strategie podle náročnosti odlitku. V nějakých případech pomáhá prodloužení cyklu, kde se pomocí chlazení sníží teplota formy. Častěji se lze vady letování zbavit pomocí dělícího prostředku, kde se buď prodlužuje doba nanášení, zaměřuje se na problémové místo, nebo se upravuje jeho chemické složení. Vyvarovat se letování je možno i změnou chemického složení kovu, přidáním železa. Přestože má železo negativní vliv na mechanické vlastnosti, v tlakovém lití se jeho vlastností využívá a může to být častým řešením problému. [1]



Obr. 12 Jádra, kde došlo k letování materiálu. [13]

4.4.3 Koroze

Korozivní opotřebení je definováno jako rozpouštění materiálu formy v roztaveném hliníku a následně tvoření intermetalických vrstev. Korozi se dá předcházet správným navržením chladicího systému. Koroze vzniká, protože dochází k následujícím skutečnostem: [13, 16]

- železo a většina z legujících prvků u nástrojové oceli jsou více či méně rozpustné v tekutém hliníku;
- lisování za vysokých teplot může způsobit oxidaci povrchu tvarových částí;
- intermetalické vrstvy se mohou vytvářet na povrchu formy.

4.4.4 Eroze

Erozivní opotřebení je definováno jako postupné odstraňování materiálu z povrchu formy roztaveným tekutým hliníkem, který naráží do stěn, v důsledku pohybu taveniny, která dosahuje vysokých rychlostí i přes 100 m/s v naříznutí. Erozi se dá předcházet již při konstrukci, a to umístěním jádra co nejdál od naříznutí. [13, 16]

Hlavními erozními mechanismy jsou: [13, 16]

- nárazy taveniny, která následně vytváří důlky na erodovaném povrchu;
- kavitace, která je důsledkem tvorby a rozpadu bublin v tavenině, v závislosti na místních výkyvech tlaku;
- eroze, která je způsobena dopadem ztuhlých částic (primární částice Si, zoxidované částice, nečistoty nebo intermetalické částice) během plnění formy.

Vady, např. trhliny za tepla, a následné svařování představují zejména vyšší náklady. Výměna vložek, delší časy postřiku, to vše snižuje produktivitu výroby a zvyšuje náklady na materiál. V některých případech, kdy se chceme například vyvarovat vady spojené s letováním, delším postřikem na teplá místa na formě, může poté dojít k teplotním šokům a objeví se trhlinky na formě. [13, 16]

4.5 Životnost formy

Životnost formy se řídí vlastnostmi formy, a to zejména houževnatostí materiálu na rozhraní, kde dochází ke kontaktu s roztaveným kovem. Normální životnost se u lití hliníku udává kolem 150 000 cyklů. [10]

Teoretická životnost formy se může prodloužit, a to zejména: [10]

- snížením rozdílu mezi nejvyšší a nejnižší teplotou při jednom cyklu, a to:
    - nanášením separátoru, který je schopen pracovat při vyšších teplotách;
    - nanášením separátoru, který je schopen pracovat při vyšší koncentraci, kdy nedochází k odpařování vody, a tím k vysokému odvodu tepla z povrchu formy;
- vyšší teploty taveniny v udržovací peci;
- snížení rychlosti pístu v 2. fázi;
- rovnoměrnou temperací formy – teplotní rozdíly na formě nesmí přesahovat řády desítek. Forma musí být dostatečně chlazena/ohřívána.

5 Teplotní pole formy

5.1 Teplotní cyklus formy

Každým cyklem se povrch formy vystavuje extrémním změnám teplot. Cyklus začíná zalisováním roztaveného kovu do formy, kde kov začíná při styku s povrchem formy poměrně rychle chladnout. Jakmile dojde ke ztuhnutí kovu, odvod tepla se zpomalí. Po otevření formy se odlitek vyjme a forma je otevřená do té doby, dokud se nedosáhne rovnovážné teploty v celém objemu formy. Obvykle se během této doby nanáší dělicí prostředek na povrch formy. Zde dochází k dalšímu odvodu tepla a zároveň k největšímu teplotnímu šoku na povrchu formy. Přestože se stříkání separátoru používá rovněž k odvodu tepla, jeho využití není dokonalé. Při nanášení dochází k místnímu ochlazení povrchu, ale po skončení cyklu postřiku se začnou vyrovnávat rozdíly teplot v celém průřezu formy a dojde opět k ohřevu formy. [10]

Tento agresivní tepelný cyklus, který probíhá na povrchu, vede následně k mnoha vadám. Další pokusy vyřešit jeden problém často vedou k výskytu nových vad. [10]

5.2 Charakteristiky tepelných podmínek v tuhnoucí tavenině

Tepelné poměry v soustavě tavenina – forma závisí jak na tepelně fyzikálních vlastnostech formy, tak odlévaného materiálu, avšak i na podmínkách sdílení tepla na rozhraní těchto dvou objektů. Jednou z rozhodujících vlastností je schopnost slévárenské formy akumulovat a odvádět teplo z taveniny a následně i z odlitku. Po celou dobu, od nalití taveniny do dutiny formy až po vyjmutí odlitku z formy, je forma jedním z rozhodujících faktorů vlastnosí budoucího odlitku (určuje nejen tvar, rozměry, krystalickou strukturu, ale také vlastnosti materiálu odlitku). Sledování celého procesu je velmi obtížné, neboť v soustavě odlitek – forma probíhá řada pochodů, z nichž k nejvýznamnějším se řadí: [17, 18]

a) Přenos tepla v tekutém kovu;
b) přenos tepla z taveniny do slévárenské formy;
c) uvolňování skupenského tepla při tuhnutí a fázových přeměnách;
d) přestup tepla mezi tekutým a ztuhlým kovem v odlitku;
e) vedení tepla tuhým kovem;
f) přestup tepla z formy do okolí.

Mezi odlitkem a formou dochází k výměně tepla: [17]

Vedením (kondukcí) – při sdílení tepla vedením přechází teplo od částice k částici jejich přímým stykem, teplo se šíří především v tuhé fázi.

Prouděním (konvekcí) – při proudění je teplo převáděno mezi fázovým rozhraním a hlavním proudem pohybujícího se média (nejčastěji tekutiny) a to vedením v hraniční vrstvě a pohybem větších shluků molekul předávající teplo od hraniční vrstvy do vzdálenějších míst.

Sáláním (radiací) – sdílení tepla sáláním je šíření energie ve formě elektromagnetického vlnění, přičemž se na rozdíl od vedení a proudění tepelná energie přeměňuje v energii sálavou a naopak.

5.3 Výpočet odevzdaného tepla z taveniny do formy

5.3.1 Vstupní parametry

m … hmotnost odlitku s vtokovou soustavou	2,94 [kg]
$T_{lití}$ … teplota slitiny ve vstřikovací komoře	675[°C]
T_{kr} … teplota krystalizace slitiny	580 [°C]
T_{ok} … teplota okolí stroje	25 [°C]
c_{tav}… měrná tepelná kapacita taveniny	1070 [J/kg.K]
c_{tuh}… měrná tepelná kapacita slitiny v tuhém stavu	962 [J/kg.K]
L_{KR} …latentní krystalizační teplo taveniny	390000 [J/kg]

5.3.2 Výpočet přestupu tepla

Teplo uvolněné z přehřáté taveniny [17] (5.3.2.1)

$$Q_{PŘ} = m \cdot c_{tav} \cdot (T_{lití} - T_{kr}) = 2{,}94 \cdot 1070 \cdot (675 - 580) = 298851 = 298{,}9[\text{kJ}]$$

Teplo uvolněné při přechodu z tekuté do tuhé fáze [17] (5.3.2.2)

$$Q_{KR} = m \cdot L_{KR} = 2{,}94 \cdot 390000 = 1146600 = 1146{,}6\ [\text{kJ}]$$

Teplo uvolněné při chladnutí odlitku [17] (5.3.2.3)

$$Q_{CHL} = [m \cdot c_{tuh} \cdot (T_{kr} - T_{ok})] = [2{,}94 \cdot 962 \cdot (580 - 20)] = 1583836 = 1583{,}8\ [\text{kJ}]$$

Energie kovu v okamžiku nalití do vstřikovací komory [17] (5.3.2.4)

$$Q = Q_{PŘ} + Q_{KR} + Q_{CHLa} = 298{,}9 + 1146{,}6 + 1583{,}8 = 3029{,}3\ [\text{kJ}]$$

Při řešení tepelných poměrů mezi odlitkem a formou lze ve velmi zjednodušené formě vycházet z tepelné rovnováhy, které udává rovnost tepelné energie vydané při tuhnutí odlitku a forma tuto energii akumuluje. Množství přivedeného tepla je nutné odvést vnitřním chlazením formy, místního zachlazení pomocí technologie jet-coolingu a v neposlední řadě samotným postřikem. Výpočet odvodu tepla postřikem, by byl složitý a nepřesný, jelikož ne veškerá voda při nanášení se odpaří. Velké množství kapaliny steče pod stroj.

5.4 Termoregulace formy

Většina sléváren se snaží optimalizovat chlazení forem tak, aby se eliminovala přehřátá místa a urychlil se nástup solidifikace. Nezaměřují se však na to, aby teplota formy byla v celém průřezu stejná. Vyrovnáním teploty formy se dá předejít množství vad a zvýšit životnost formy. [1, 10]

Zchladnutí formy se dosahuje různými způsoby. Teplotu formy je potřeba udržovat mezi určitou hranicí, která obvykle bývá cca 200–350 °C. Pracovní teplota formy dále ovlivňuje různé faktory, a to zejména dobu tuhnutí odlitku, zabíhavost taveniny, schopnost separátoru ulpívat na povrchu formy a v neposlední řadě samotnou životnost formy. [1, 10]

5.4.1 Temperování

Pokud jde o temperování, nejčastěji se pro termoregulaci používá voda nebo olej. Voda se využívá zejména pro odvod tepla, avšak olej lze využít jak na ohřev, tak i na ochlazování. U modernějších zařízení je možné využívat i vodu na ohřev, a to až do 180 °C za vyššího tlaku. Použití jednotlivých médií je různorodé, jelikož voda i olej se chovají rozdílně. Výrazným rozdílem mezi médii je, že chlazení olejem je pro formu jemnější a nedostává takové teplotní šoky jako vodou, kde by mohlo dojít i k prasklinám na formě. Správným použitím se prodlužuje životnost formy. V případě masivnějších míst, kde tuhne více kovu, jako je vtok nebo tableta, je vhodnější použít vodu s vyšším chladicím účinkem. Kanály, které jsou blíž k tavenině, jako jsou tvarové vložky, dutiny nebo jádra, je lepší zchladit olejem. Vzdálenost chladicích kanálu od povrchu formy by se měla pohybovat od 25 mm a výš a v blízkosti rohů by to mělo být 50 mm a více, aby nedošlo k popraskání formy a následnému vniknutí chladicí kapaliny do dutiny. [1, 10, 13, 19]

Při vysokotlakém lití je opět trend přejít k ohřevu forem pomocí nosiče tepla – vody – a nelze přehlédnout, že mnohé firmy v automobilovém průmyslu se po provedených zkouškách odhodlaly přejít u velkých dílů na temperování forem vodou. [19]

Podstatnými důvody jsou: [19]

- lepší chladicí výkon;
- nižší pořizovací náklady na přístroje a média;
- vytváření příznivých podmínek pro ochranu životního prostředí včetně likvidace odpadů.

V praxi stále existuje nejistota, které médium, zda olej, či voda, je pro jednotlivé licí procesy vhodnější. [19]

Dříve používané vodní systémy byly bez jakékoliv možné regulace a často chemicky neošetřené vodní zdroje zapojeny do okruhu chlazení. Počáteční chladicí výkony se během výroby kvůli korozi, vápnění kanálů a přívodů postupně snížily. Proto bylo potřeba chladicí systém odvápnit, což vedlo k dalším výlukám a omezováním výroby. [19]

Vývojem termoregulačních přístrojů s olejovou náplní a současně regulovatelnou teplotou pomocí elektroniky se řada těchto nevýhod odstranila. Zároveň se odstranily problémy se zanášením kanálů. Přes všechny přednosti zůstává vždy jedna nevýhoda, kterou je chladicí výkon oproti temperování vodou. Olejovým médiem nelze dosáhnout takového výkonu kvůli znatelně nižším schopnostem přenosu tepla. Další přednosti, které mají olejová temperační zařízení, postupně přebírají i vodní systémy. Jedná se o regulaci teploty, dosažení nahřátí teploty kolem 160 °C, automatické přimícháváním antikorozního prostředku do kapaliny pro udržení čistoty kanálů formy a v neposlední řadě již zmiňované nižší náklady na ekologické odpady. [19]

Obr. 13 Temperační zařízení firmy Thermobiehl. [19]

Oba tyto druhy mají své klady i zápory, velkou výhodou však je, že je lze i kombinovat a dostat tak teplotní pole k optimální výrobě odlitku. Obvykle se používá u složitého odlitku se silnými a slabými stěnami u velkých tlakových licích strojů kolem 4000 t. Tak je rám formy ohříván maximální teplotou do 350 °C s výkonem 24 KW. Rovněž tak je vhodné použít olej u tenkostěnného odlitku, kde je nutná vysoká teplota pro dobrou zabíhavost kovu. Zbytek temperace je zapojen na vodu kvůli vysokému chladicímu výkonu. [19]

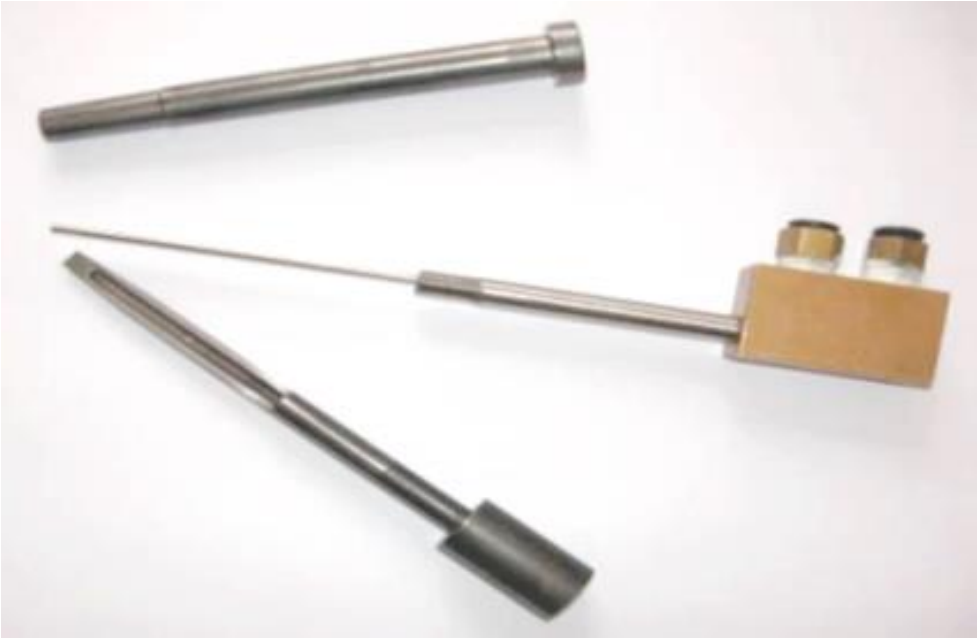
5.4.2 Chlazení jader – Jet-cooling

U tlakového lití je nejvyšší teplota na tenkých vložkách nebo přehřátých místech, která se nedají zachladit. Z toho vyplývá, že jádra a přehřátá místa je potřeba zchladit, a to nejlépe vodou. Dlouhá jádra bývají často špatně chlazena a při tuhnutí odlitku se pak vytváří teplotní uzel. [16]

Velká jádra nebo celé formy je možné chladit velmi dobře. U extrémně tenkých jader s vnějším průměrem menším než 10 mm byly pokusy s jejich chlazením plynem nebo jinými médii buď příliš nákladné, nebo nebyly dostatečně uspokojivé. [20]

Princip této technologie spočívá ve vodou chlazeném jádře:

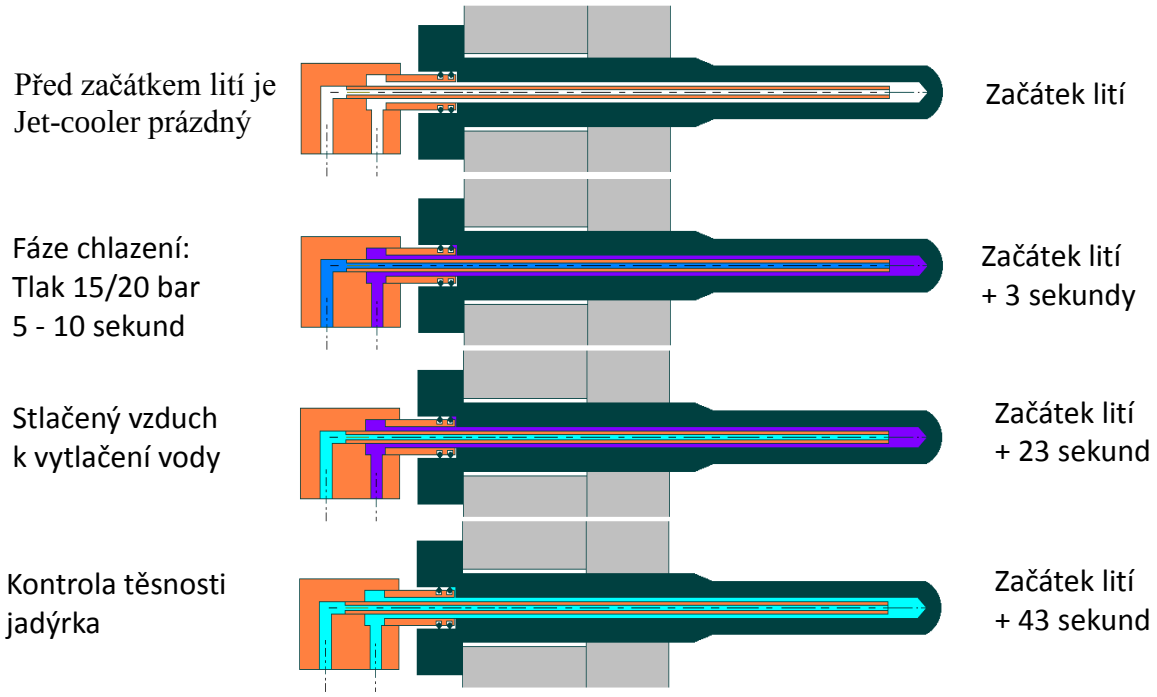
Do jádra, které má být chlazeno, se navrtá otvor. Tento otvor musí být velmi přesně vycentrován. Do tohoto otvoru se – jako jehla injekční stříkačky – zavede tzv. jet-cooler, jímž se po dobu několika málo sekund přivádí pod velkým tlakem chladicí voda. [20]



Obr. 14 Vrtání jádra a tzv. injekční stříkačka. [20]

Pracovní postup procesu chlazení vypadá následovně:

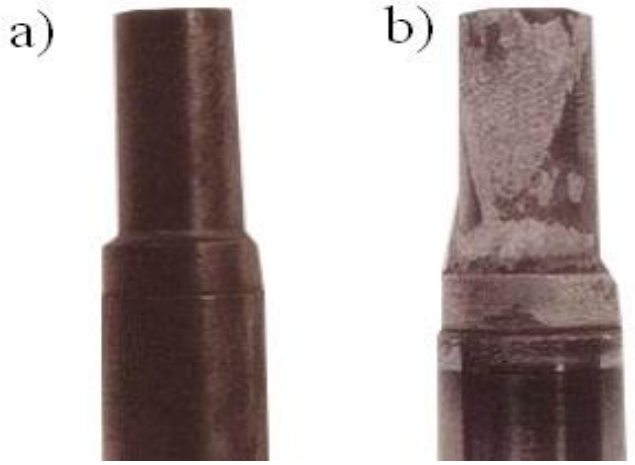
Při zahájení pohybu pístu, se nastartuje zařízení s definovaným odstupem chlazení vodou pod vysokým tlakem až 20 barů hadičkou přes rozdělovač do jádra. Změnou skupenství z vody na páru se přes jádro okolnímu hliníku rychle a efektivně odebere energie, tj. teplota. Doba chlazení činí podle potřeby a podle nastavení cca 5 až 10 s. Poté se pomocí stlačeného vzduchu voda kompletně odstraní z jádra, jet-cooleru i hadičky. [20]



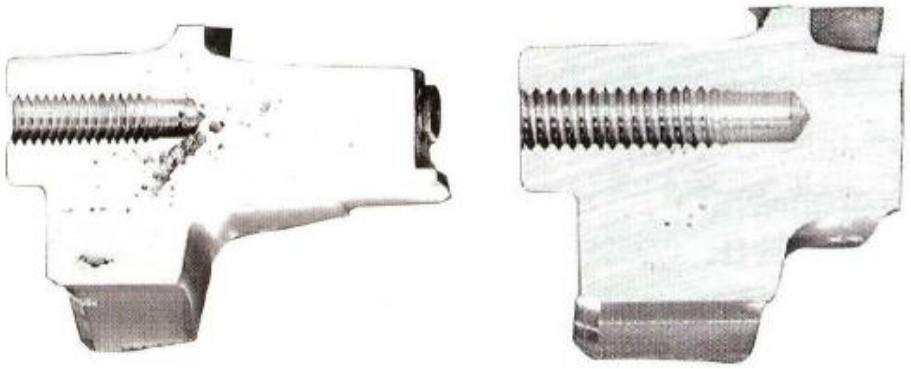
Obr. 15 Grafické znázornění průběhů jet-cooleru. [21]

Ekonomické a kvalitativní přednosti této technologie jsou následující:

Chlazená jádra mají delší životnost, jelikož netrpí výskytem nalepenin jako konvenční jádra. Na obrázku je patrné konvenční jádro po pouhých 50 licích cyklech v porovnání s jádrem stejného tvaru, ale s využitím jet-coolingu po 5 000 cyklech. Je tedy zřejmé, že konvenční jádro je daleko více vystaveno mechanickému a tepelnému namáhání. Jeho materiál se rychleji unavuje a životnost zkracuje. Jakkoliv je delší životnost jader pozitivním přínosem, nejdůležitější výhodou této technologie je významné zvýšení kvality odlitků. Tím se nejen vrátí vyšší pořizovací náklady chlazeného jádra, ale i sníží počet odstávek způsobených údržbou. Sníží se spotřeba dělicího prostředku a zkrátí se doba cyklu. [16, 20]



Obr. 16 Porovnání životnosti a) chlazeného a b) nechlazeného jádra. [17]



Obr. 17 Snímky odlitku v řezu bez jet-coolingu a s jet-coolingem. [20]

Na výbrusu je patrné, že odlitky vyrobené s použitím chlazených jader vykazují výrazně lepší strukturu, zatímco u konvenčních jader vzniká v oblasti špičky jádra ve velké míře pórovitost.

5.4.3 Přestup tepla konvekcí

Část tepla se odvede při otevření formy. Jedná se o teplo odvedené z povrchu tvarových částí formy. Když se vzduch začne pohybovat kolem povrchu formy, příjme teplo z formy a začne ho unášet do okolí. To je jeden z důvodů, proč je kolem tlakového licího stroje horko. [10]

5.4.4 Ochlazení postřikem

V první řadě je potřeba pochopit, že hlavním důvodem postřiku povrchu formy v každém cyklu je, aby se odlitky daly vyjímat a nezůstaly ve formě po ztuhnutí. Vedlejším důležitým úkolem je rychlé zchlazení povrchu ať již úmyslně, nebo nikoliv. Postřik se dá využít přímo na konkrétní místa, která kvůli složitosti tvaru nemůžeme zchladit pomocí vodních kanálků,

jako jsou například dlouhá jádra, nebo naopak hluboké dutiny. Je potřeba si uvědomit, že se jedná o poslední variantu zchlazení formy na potřebnou teplotu a v některých případech se používá až příliš často. Nový směr představuje postřik co nejvíce minimalizovat a zefektivnit. [10]

Tavenina – tavenina je hlavním zdrojem tepla, které je přiváděno do systému v každém cyklu. Je důležité dopředu zvážit, zda je dostatečné chlazení a zda přijaté teplo bude odvedeno, jinak by docházelo k přehřívání formy, prodlužování cyklu a k vadám s tím spojeným. Naopak, pokud by byla forma přechlazená, může docházet k zadírání odlitku v dutinách a opět k tomu odpovídajícím vadám. [10]

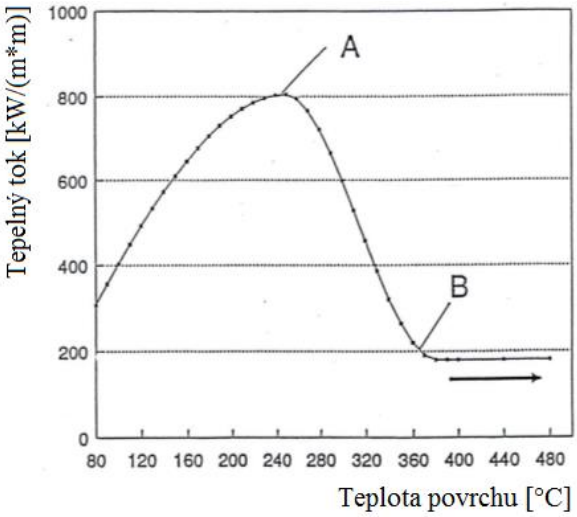
6 Postřik forem

Nedílnou součástí výroby odlitků v tlakovém lití je postřik forem. Přímo ovlivňuje celý výrobní proces a s ním spojené celkové náklady. Produkce kvalitních dílů, vyrobených v krátkém čase a s malou spotřebou dělicího prostředku, je jedním z hlavních úkolů výrobců při zvyšování produktivity. Hlavní funkce postřiku forem je: [22]

- nanesení dělicího prostředku;
- namazání pohyblivých částí formy;
- odstranění nečistot;
- ochlazení formy.

Nejčastěji v tlakovém lití jsou dělicí prostředky na vodní bázi, které plní mnoho důležitých funkcí včetně uvolnění dílů z formy, mazání pohyblivých součástí a brání letování neboli zanášení formy. Dělící prostředky na vodní bázi jsou obecně přijímány jako zdravotně nezávadné, a to i vůči životnímu prostředí. Jednou z dalších důležitých funkcí mazadel je odvod tepla z formy a jeho celkový vliv na tepelnou bilanci formy. [10, 23]

Všeobecně znázorněný graf odvodu tepla z povrchu formy nastříkáním separátoru je na obr. 18. Zde je ukázáno, že schopnost odvodu tepla je ovlivněna teplotou povrchu formy. Při nízkých teplotách je tepelný tok menší vzhledem k nepatrnému rozdílu mezi povrchem formy a samotným separátorem a faktem, že dochází k malému odpařování. Jak se zvyšuje teplota formy, tak je i větší rozdíl mezi dělicím prostředkem a povrchem, a rychlost odpařování má vyšší účinek. Tím je vyšší i tepelný tok a dochází k ochlazování povrchu až do doby, dokud se na povrchu formy nezačne tvořit pára, což je teplota vyhoření [23].



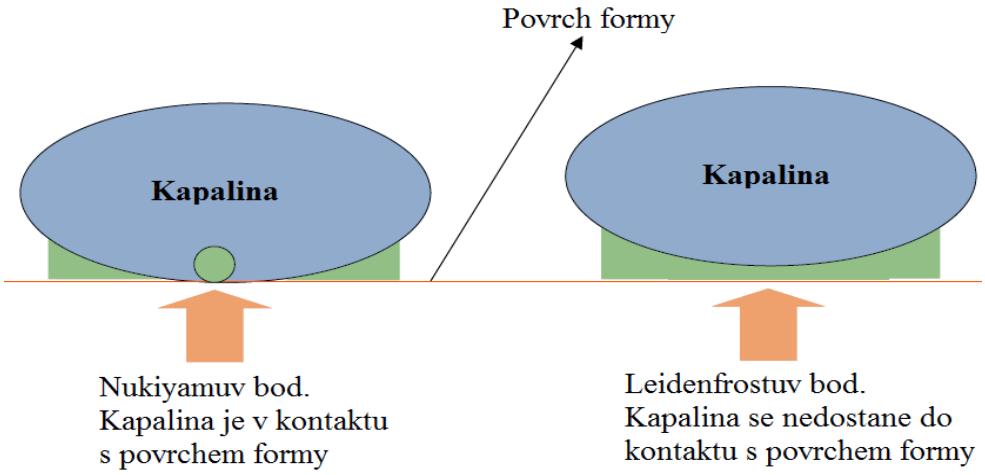
Obr. 18 Graf znázorňující odvod tepla z povrchu formy dělicím prostředkem. Bod A) teplota vyhoření, bod B) Leidenfrostova teplota [32]

6.1 Leidenfrostova teplota

Díky složitosti velkých odlitků a strukturálních dílů je obtížné, ale přesto zásadní, navrhnout vnitřní chlazení tak, aby se všechny tvarové části formy dostatečně a rovnoměrně ochlazovaly. Přirozeným důsledkem toho je, že se zvýšily teploty povrchu. Předtím se optimální teplota povrchu formy před postřikem udávala mezi 250 °C – 350 °C, ale při velkých součástech se s teplotami můžeme dostat až ke 400 °C, zatím co chlazení je nastavené na nejnižší hodnoty. [24]

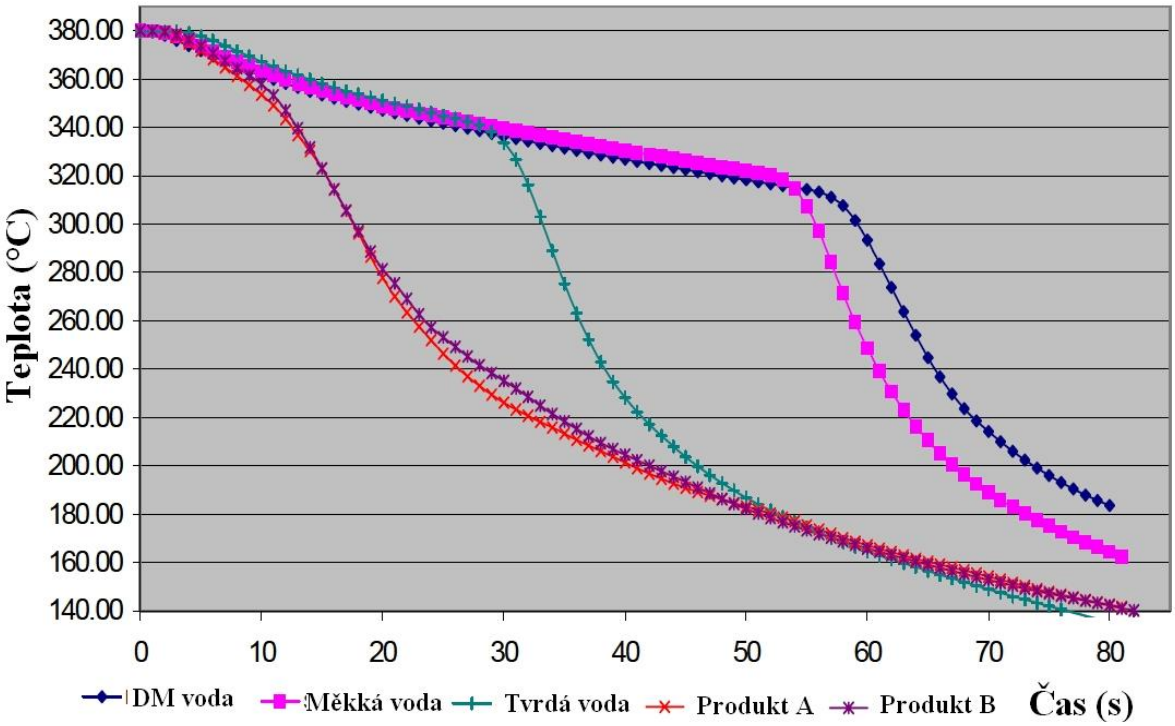
To vede k tomu, že vznikají problémy s místním přehřátím a následně letováním materiálu. O to víc jsou tahle místa závislá na správné temperaci formy anebo místním ochlazení pomocí postřiku. Při vyšších teplotách je to ovšem obtížné kvůli Leidenfrostovému jevu. Což normálně vyžaduje větší množství spotřeby separátoru, čímž se prodlužují doby cyklu a zvyšují náklady. [24]

To znamená, že Leidefrostuv jev vzniká tehdy, kdy se stříká voda na horký povrch, který má teplotu nad bodem varu vody a nemůže tak dojít ke styku s kovovým povrchem. Místo toho se zdá, že kapky plují na polštáři vzniklé vodní páry, a proto nejsou schopny vlhčit povrch viz obr. 18. Aktivní látky dělícího prostředku nejsou schopny vytvořit dostatečnou vrstvu na povrchu. Proto nejvyšší teplota, při níž může voda nebo separátor na bázi vody přilnout na povrchu je známá, jako Lidenfrostova teplota. Nejvyššího odvodu tepla se dosahuje při Nukiyamově teplotě. [24]



Obr. 19 Leidenfrostův jev a Nukiyamuv bod.[24]

Cílem dalšího vývoje dělících prostředků bylo zvýšit Leidenfrostovu teplotu tak, aby se mohla vytvořit vrstva za vyšších teplot formy, což zkrátí časy postřiku a výrazně sníží náklady Anebo směs, která dokáže rychleji odvádět teplo. Z grafu na obr. 20. jsou patrné jednotlivé křivky, které porovnávají rozdíly mezi použitou vodou. Studie s vodou ukázaly, že přítomnost rozpuštěných solí zvyšuje Leidenfrostův bod. Demineralizovaná voda měla za experimentálních podmínek teplotu zvlhčení kolem 315 °C, měkká voda 320 °C a tvrdá voda 340 °C. Spodní dvě křivky v grafu zobrazují charakteristiku nových moderních separátorů, zabývající se problematikou ochlazení formy z vyšších teplot. Pokud potřebujeme ochladit formu na 250 °C, použitím nových materiálů snížíme časy postřiku o 20 – 30 %. [24]



Obr. 20 Graf znázorňující chladící účinek různých druhů směsí. [24]

Dělicí prostředek se po správném nanesení nachází přímo na rozhraní mezi roztaveným kovem a povrchem formy. Jedná se o tenkou neviditelnou vrstvu, která musí být dostatečně silná, aby odolala turbulentnímu proudění kovu. Při postřiku jsou také mazány pohyblivé části, které minimalizují opotřebení. Nanesený film usnadňuje proudění kovu při vyplňování dutiny, jelikož hliník má tendenci přilnout na povrchu formy. Jedná se o mechanismus letování, který byl již popsán v předchozí kapitole. [10]

Během cyklu může u dělicího prostředku dojít k různým jevům, proto je při výběru potřeba vybrat ten nejvhodnější pro konkrétní odlitek. [10]

- Separátor nemusí pracovat při vyšších, nebo naopak nižších teplotách;
- při vysokotlakém lití dochází zejména u naříznutí k vysokým rychlostem taveniny, kdy může dojít ke spláchnutí filmu;
- někdy na jádře zůstane šedá stopa, což je výsledek špatného namazání.

Materiály, které mají nižší povrchové napětí, lepší smáčení a vazné vlastnosti, pomáhají kompenzovat výše zmíněné podmínky. Grafit nebo některé příbuzné sloučeniny boru mají nižší povrchové napětí a podporují proudění separátoru po povrchu. [10]

6.2 Historie dělicích prostředků

Před mnoha lety byly první dělicí prostředky, těžké minerální oleje obsahující parafín a polycyklické aromatické sloučeniny, vyráběny přímo z ropy po první destilaci. V následujících letech s přicházející novou technologií byly těžké oleje opuštěny a nahrazeny novými přírodními a syntetickými produkty, jako jsou rafinované minerální oleje. Nejdůležitější jsou silikony. Pryskyřičné syntetické polymery nemají šanci se v této oblasti uchytit, protože je nelze dobře roztavit, ale zůstanou v polotuhém stavu, nebo vznikne další polymerace. Touto změnou se začnou usazovat a seskupovat na formě, kde dále tvoří překážku pro správné mazání. Kvůli špatným mazacím vlastnostem jsou v praxi nepoužitelné. [25]

6.3 Rozdělení dělicích prostředků

Aktivními přísadami ve vodou ředitelných dělicích prostředcích jsou emulgátory. S používáním produktů, které jsou na vodní bázi, mají slévárny poměrně bohaté zkušenosti. Aplikování výrobků na bázi rozpouštědel je velmi nebezpečné s ohledem na dodržení teplotního rozmezí. Jedná se o velmi nebezpečné produkty jak pro zdraví, tak i pro životní prostředí a hrozí i riziko výbuchu. [25].

Dělicí prostředky můžeme rozčlenit do pěti základních skupin: [25]

- minerální oleje;
- esterové oleje;
- silikonové oleje;
- vosky;
- separátory s povrchově aktivními látkami.

6.3.1 Minerální oleje

Nyní používané minerální oleje jsou více rafinované než v minulosti, ale obsah parafínu a aromat je stále vysoký. Nižší je jejich viskozita. [25]

6.3.2 Esterové oleje

Esterové oleje jsou přírodní i syntetické. Přírodní jsou rostlinné oleje, například: sójové, slunečnicové nebo ricinové oleje. Syntetické jsou monofunkční estery, jako jsou estery mastných kyselin s alkoholem. Esterové oleje mají široké využití při mazání, ale najdeme je pouze u několika produktů. Důvodem může být, že je někdy těžké je emulgovat obvyklým způsobem jako minerální oleje. [25]

6.3.3 Polysiloxany

U tlakového lití se silikony nazývají Alkyl arilpolysiloxany. Používané polysiloxany mají specifické vlastnosti, kterými se odlišují. Mají vyšší mazací účinek a jsou snadno přetíratelné. Tepelný odpor je velmi vysoký jako u každého silikonu. [25]

6.3.4 Vosky

Často se využívají syntetické produkty polyethylenových vosků, jelikož mohou nahradit minerální oleje. Jejich teplota tání začíná na 100 °C, a jakmile se roztaví, jejich viskozita je velmi nízká. Při vysokých teplotách se chovají jako oleje, ale neobsahují žádné škodlivé látky. Nevýhodou je, že dojde k jejich ztuhnutí a následně zanesení formy. [25]

6.3.5 Separátory s povrchově aktivními látkami

Povrchově aktivní látky jsou nezbytné pro emulgování účinné látky. Jedná se o vazbu mezi vodou a olejem nebo voskem. Kvalita a stabilita emulze závisí v první řadě na výběru povrchově aktivních látek. Zhruba je dělíme do třech skupin: [25]

- Neiontové povrchově aktivní látky – jsou nejčastěji používány, protože jejich univerzálnost a efektivnost je velmi vysoká. Nevýhodou je jejich nízká biologická rozložitelnost a jejich degradace se dosahuje pouze velmi účinnou úpravou vody. [25]
- Aniontové povrchově aktivní látky – používají se méně, protože jsou hůře biologicky odbouratelné. Jsou méně univerzální než neiontové a jsou velmi citlivé vůči kolísání hodnoty pH a tvrdosti vody. [25]
- Kationtové povrchově aktivní látky – nepoužívají se, protože mají špatnou účinnost a protože jsou kyselé. Mohlo by snadno dojít ke korozi v kyselém prostředí. Kationtové emulze se v tlakovém lití nepoužívají vůbec. [25]

6.4 Složení dělicích prostředků

- **Živočišné a rostlinné tuky** zvyšují kohezi zbytkových filmů. Syntetické tuky, jako jsou chemické estery bližší polymerům, než minerálním olejům a dalším tukům, zvyšují kohezi a smáčení kovových povrchů. [10]
- **Barviva, jako je grafit hliník, slída** a další práškové pevné látky jsou nezničitelné při vysokých teplotách, regulují viskozitu a působí jako izolátory. [10]
- **Chemické přísady** jsou schopné změnit chemické složení povrchu formy a zlepšit tak její vlastnosti. Přidáním olejové složky zvýšíme kohezi a zároveň je zabráněno letování, oxidaci nebo korozi. [10]
- **Zvláštní zbytkové tekutiny** jsou složené z organických sloučenin. Mají kritickou teplotu, při které dojde ke ztrátě viskozity. Během extrémně krátkého času se vyplní dutiny tlustou viskózní antiseparační vrstvou. [10]
- **Emulgátory** obsahují mýdla, estery alkoholů a etylenoxidové přísady. Jsou důležité k vytvoření emulze s jinak nesmísitelnými látkami, jako je například voda a olej, které nelze spojit dohromady. [10]
- **Voda a rozpouštědlo** jsou hlavním nosičem a ředí koncentrát, který je potom dále unášen vzduchem na povrch formy. Nosiče a ředidla mají stejné funkce, ale rozdílné chování. Voda, jako nosič přináší dělicí prostředek na povrch formy a následným vypařením napomáhá chladicímu systému. [10]
- **Rozpouštědlo** jakožto nosič obecně nahradila voda z důvodu snadnějšího zacházení, bezpečnosti a čistějšího ovzduší. V minulosti pro vytahování odlitku byl velmi efektivní petrolej a nafta. Někdy však docházelo k malým výbuchům ve formě, což mělo nežádoucí účinek. Rozpouštědla ředí další složky, které pak lze snadněji aplikovat a vytvářet tenké vrstvy. Působí také jako izolátor. [10]
- **Voda** se v dnešní době používá nejčastěji k ředění koncentrátu. Minimalizuje znečištění ovzduší a je bezpečnější, protože nemá výbušný bod. Je-li voda správně zpracována a jsou odstraněny minerály a uhlík, tak neznečistí povrch formy. Voda však nikdy nemůže být absolutně čistá kvůli minerálům, které obsahuje. Množství minerálních látek určuje tvrdost, která dále ovlivňuje směs separátoru. Voda se chová jinak než rozpouštědla, má pouze jeden bod varu a okamžitě se převede na páru, která odebírá teplo, jakmile dojde ke styku s horkým povrchem. Proto se prodlužují časy postřiku, dokud není forma zchlazena a mazivo ulpí na povrchu. Pokud slévárna používá tvrdou vodu, která obsahuje velké množství minerálních látek, jako je vápník, hořečnaté soli, volné železo a síra, může dojít k zanesení vnitřních chladicích kanálků natolik, že bude protékat jen pramínek. K tomu dochází často, i když se do vody přidává změkčovadlo a filtruje se. Tím dojde jen k částečnému vyčištění. Pomocí deionizace jsme schopni se efektivně zbavit všech minerálů, volného železa, síry a jiných nečistot. [10]

6.5 Technologie postřiku forem

Postřik formy se v dnešní době většinou provádí automaticky pomocí trysek, které jsou připevněny na postřikové hlavě. U firmy WOLLIN, jak je zřejmé z obr. 21, se celá hlava skládá z tzv. stavebnice, což zvyšuje efektivitu při samotném postřiku. Nástroj je možné přizpůsobit geometrii formy a poskládat jej jako kostky LEGA® v jednu stavebnici tak, aby každá oblast formy měla „svoji“ trysku. [10, 22]

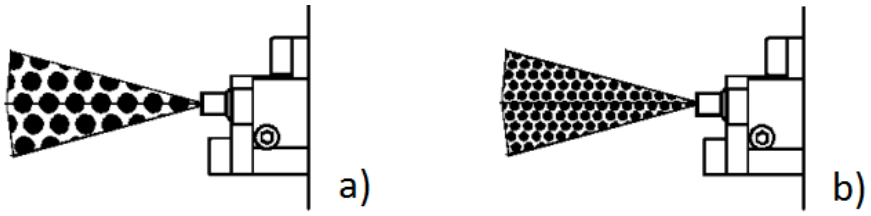
Obr. 21 Stavebnicový systém sestavené postřikové hlavy (WOLLIN GmbH). [26]

Další podstatnou podmínkou pro výrobu vysoce kvalitních odlitků je úplné odpaření chladicí vody. Stříkáním velkého množství dělicího prostředku v žádném případě nedochází k rychlému ochlazení povrchu formy. Při nanášení postřiku pod vysokým tlakem se prostředek od formy bez odpaření odrazí. Nevyužitý dělicí prostředek pak stéká pod stroj, čímž dochází nejen k vyšší zátěži životního prostředí, ale také ke zvýšení provozních nákladů. Na účinnost postřiku mají zejména vliv následující vlastnosti [22]:

- hustota postřiku, která je definována jako objem dělicího prostředku dopadajícího za jednotku času na jednotku plochy;
- dopadová energie;
- velikost a rychlost kapek dělicího prostředku.

Vlastnosti proudu postřiku ovlivňují následující parametry [22]:

- **Tlak vzduchu** zajišťuje rozprášení dělicího prostředku a urychluje kapky ve směru povrchu formy. Čím větší je tlak tlakového vzduchu, tím jemnější a rychlejší jsou kapky obr. 22.

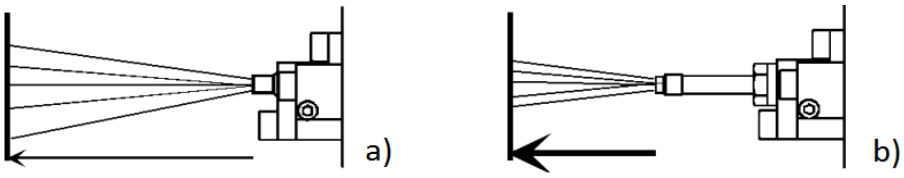


Obr. 22 Schématické znázornění rozdílu tlaku vzduchu a) malý tlak vzduchu – hrubé rozprášení, b) vysoký tlak vzduchu – jemné rozprášení. [26]

- **Tlak dělicího prostředku** určuje objemový průtok dělicího prostředku tryskou a tím hustotu postřiku.

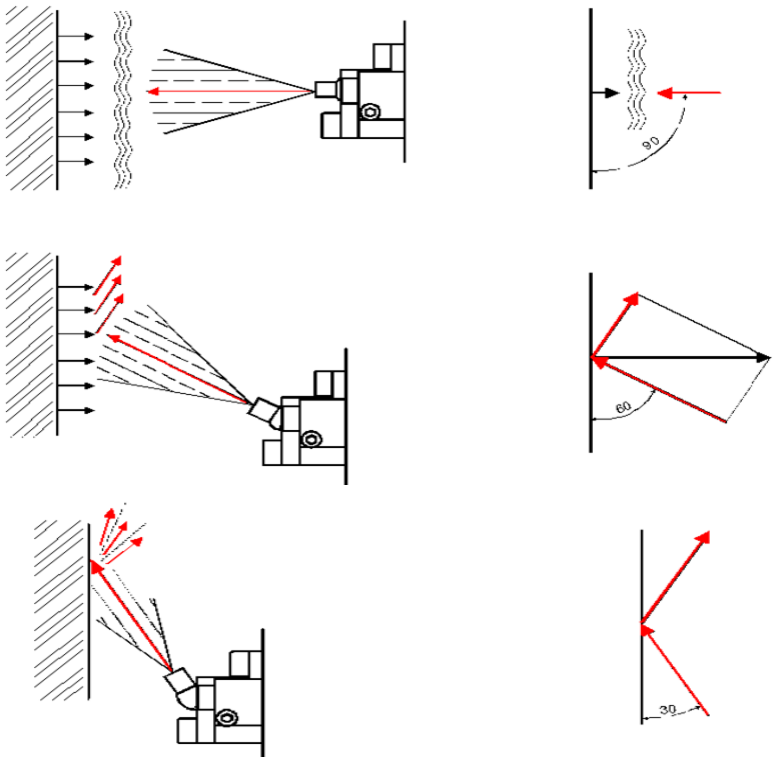
- **Doba postřiku** spolu s tlakem dělicího prostředku určuje jeho spotřebu.
- **Vzdálenost mezi tryskou a formou** ovlivňuje velikost postřikované plochy, hustotu postřiku a také velikost a rychlost kapek obr. 23. Doporučená vzdálenost trysek od formy by měla být 100–200 mm. Pro přehřátá místa volíme kratší vzdálenost, pro „studená“ místa větší vzdálenost. [26]
  Dopadová energie postřiku – energie postřiku se snižuje s druhou mocninou vzdálenosti trysky od formy. [26]

$$Epp = \frac{Ep}{l^2} \qquad (6.5.1.)$$



Obr. 23 Schematické znázornění různých vzdáleností a) velká vzdálenost od formy – malá energie dopadu, ale zasáhne větší plochu, b) menší vzdálenost od formy – vysoká energie dopadu, menší velikost postřikované plochy. [26]

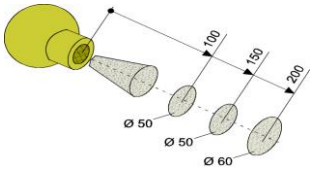
- **Úhel mezi osou trysky a rovinou formy** – tryska by měla být vždy nastavena pod správným úhlem na rovinu formy, jelikož při dopadu směsi na rozehřátý povrch dochází k odpařování vodní složky a při vodorovném postřiku dochází k uzavření páry, která nemůže správně odcházet, viz obr. 24. Zároveň se vytvoří tzv. parní polštář, který brání dalšímu nanesení postřikové směsi na formu. Pokud je tryska nastavena pod příliš nízkým úhlem, dělicí prostředek se od povrchu odráží a nezůstane na formě. Správné nastavení trysek je zásadním faktorem, díky kterým se můžeme vyvarovat množství vad. [22, 21]



Obr. 24 Nastavení směru trysky a) úhel dopadu 90° – pára nemůže odcházet a vytváří se parní polštář, b) úhel dopadu 60° – pára může stoupat nahoru, c) úhel postřiku 30° – postřik se odráží od formy. [26]

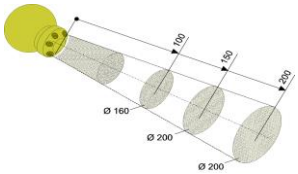
- **Vlastnosti trysky** – trysky se rozlišují podle charakteristiky postřikového kuželu, hustoty postřiku (vnitřního průměru trysky), způsobem směšování (vnější nebo vnitřní), velikosti postřikované plochy a také podle velikosti a rychlosti kapek. [22, 26]

Standardní tryska



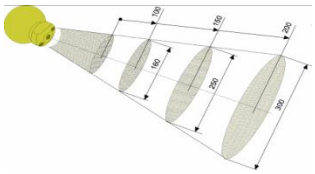
Svázaný proud **Malá plocha**

Široký proud



Široký proud **Velká plocha**

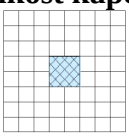
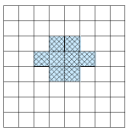
Plochý proud



Plochý široký proud **Elipsoidní plocha**

Obr. 25 Charakteristiky postřikového kuželu dle výběru trysek. [26]

- **Velikost kapek** – je rozhodující pro optimální nanesení dělicího prostředku. Objem kapky s průměrem 1 mm je stejný jako objem 8 kapek s průměrem 0,5 mm. Celková plocha 8 kapek s průměrem 0,5 mm je přesto dvakrát tak velká jako plocha kapky s větším průměrem 1 mm. Kapka se zmenšuje s vyšším tlakem vzduchu a menším tlakem mazadla. Průměr trysky neovlivňuje velikost kapky. Prostřednictvím mnoha menších kapek je odvedeno podstatně více tepla a forma může být dříve ochlazena pod kritickou teplotu a tedy smáčena dělicím prostředkem. [22, 26]

	Počet kapek	Objem	Plocha
Velikost kapek 1 	1	0,5	0,8
Velikost kapek 0,5 	8	0,5	1,6

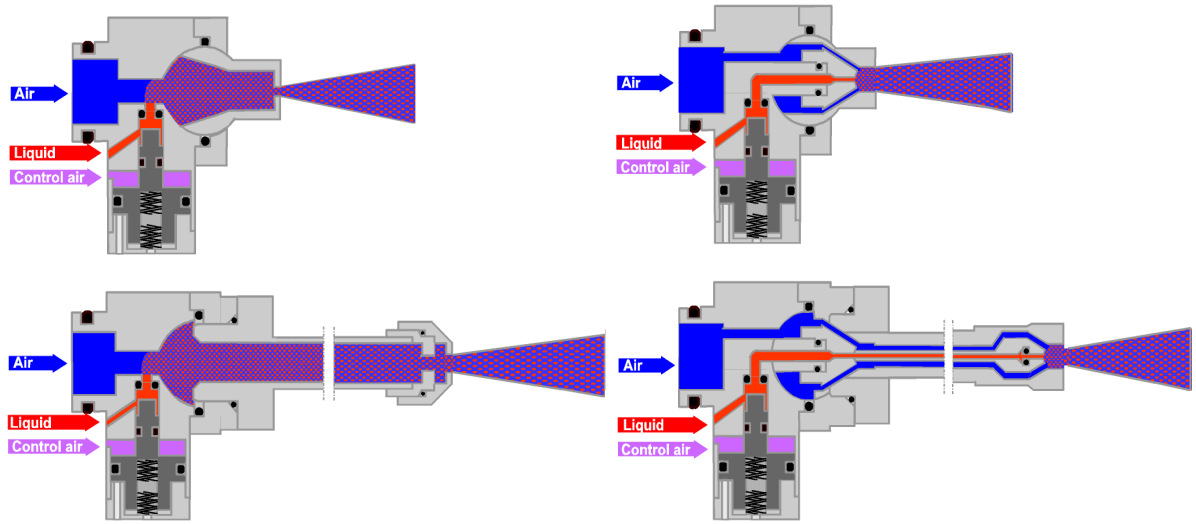
Obr. 26 Velikost nanesené plochy v závislosti na velikosti kapky. [26]

6.6 Trysky

U trysek se standardně používají dvě technologie mísení dělicího prostředku se vzduchem. Na obr. 27 a) je znázorněna tryska s vnitřním směšováním, kde řídicím vzduchem ovládáme množství přivedeného mazadla do směšovací komory. Dále je vyobrazen konstantní přívod natlakovaného vzduchu, který kapalinu rozprašuje na povrch formy. Jedná se o jednodušší konstrukci, která je cenově výhodnější. Zde dosáhneme vyšší dopadové energie. Nevýhodou tohoto systému je vysoká hlučnost, ke které dochází kvůli tlaku mazadla, který musí být vyšší než tlak unášecího vzduchu. [26]

Druhá varianta na obr. 27 b) je tryska s vnějším směšováním. U této technologie je přívod separátoru opět dávkován pomocí řídicího vzduchu, ale je vyveden až k samotnému vyústění trysky, kde je následným tlakem vzduchu dělicí prostředek rozprašován na formu. Díky vnějšímu směšování jsou kapky, které vytváří mlhu, konstantnější a jemnější. Tlak vzduchu a dělicího prostředku jsou nezávisle nastavitelné. [26]

Na postřikové hlavě nelze jednotlivé technologie trysek kombinovat, protože vnější směšování má rozdílný přívod tlaku a zařízení by nefungovalo správně.



Obr. 27 a) tryska s vnitřním směšováním b) tryska s vnějším směšováním. [26]

Na obr. 28 je reálná fotografie běžně používané trysky v provozu. Jedná se o technologii vnějšího směšování, která je v praxi ve slévárnách používána častěji. Regulace síly proudu je možná již při sestavování, kdy lze zvolit různé průměry trysek. [26]

Obr. 28 Tryska s vnějším směšováním (WOLLIN GmbH). [26]

6.7 Postřikové systémy

Postřik formy lze provádět ručně pomocí postřikové pistole nebo automaticky. Obvykle je v moderních slévárnách již zavedeným standardem využití automatického postřiku, který se uplatňuje dvouosým ošetřovacím zařízením, tzv. manipulátorem nebo ošetřovacím robotem, kombinovaným s postřikovací hlavou na obr. 28. [10, 26]

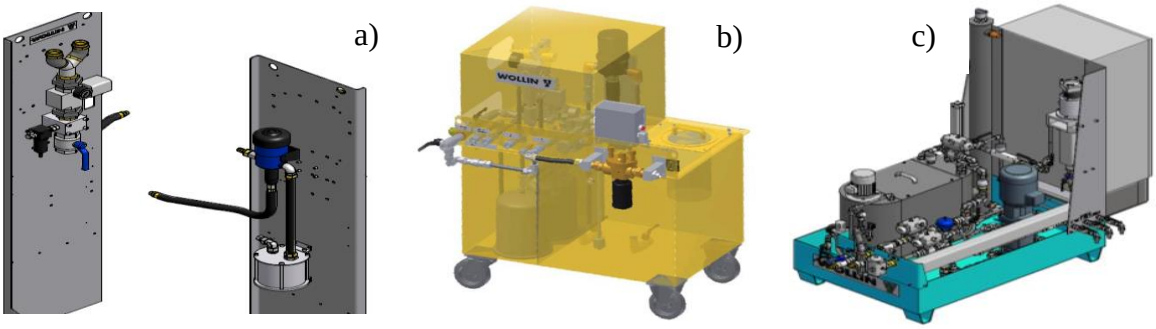
Výhodou manipulátoru je rychlost, snadnější výroba, údržba a ovládání. Limitem je pohyb ve dvou osách. Výhodou klasického robota je možnost pohybu v šesti osách, dokáže namazat i hůře dostupná místa. Pořizovací cena je o málo vyšší oproti manipulátoru. [26]

Obr. 29 a) dvouosé ošetřovací zařízení, b) kombinace šestiosý robot a postřikovací hlava pro vysokotlaké lití. [26]

6.8 Směšovací zařízení

Směšovací zařízení je součástí pracoviště vysokotlakého licího stroje, z kterého vede okruh přes robota do postřikové hlavy. Směšovací zařízení se dělí podle jejich vlastností do tří skupin: [26]

a) Jednoduché směšovací zařízení, kde do malého směšovacího zásobníku je přivedena voda a koncentrát, vždy v předem nastaveném poměru. V zásobníku dojde k smísení a dávka je pod tlakem dopravena do postřikové hlavy.
b) Další skupinu tvoří směšovací zařízení s větším zásobníkem, kde dochází k neustálému, a oproti předešlé verzi, dokonalejšímu míchání separátoru s vodou, dle předem nastavené koncentraci. Zařízení je standardně vybaveno průtokoměrem.
c) Poslední skupinu tvoří zařízení, které je opět vybaveno větším zásobníkem, pro dokonalejší homogenizaci. Množství přimíchávané vody je systémem odměřováno prostřednictvím digitálního vodoměru k dosažení požadovaného množství vody pro daný směšovací poměr. Přesnost dávkování je zde mezi 1–2 %. Zařízení ukládá potřeby namíchané směsi pro každý cyklus.



Obr. 30 Typy směšovacích zařízení. [26]

6.9 Mikropostřik

Využití moderní technologie nanášení dělicího prostředku je budoucností tlakového lití. Největším rozdílem při využití technologie mikropostřiku je absolutní eliminování vody při nanášení postřiku na formu. Z toho vyplývá, že prostředek se nanáší jako čistý koncentrát, odpadávají s tím spojené náklady na odpad nebo čištění vody, která během klasického postřiku stečou pod formu. [26]

Samotný proces postřiku je velice podobný klasickému postřiku. Rozdílem je délka nanesení dělicího prostředku, která je výrazně nižší, proto je potřeba, aby forma byla dokonale chlazena, jelikož samotným postřikem se povrch chladí jen minimálně. Pomocí technologie mikropostřiku docílíme následujících úspor: [26]

- snížení času licího cyklu;
- šetření samotného licího stroje o 15–30 % nižší rychlostí pístu při plnění;
- zvýšení produktivity slévárny o 20–30 %;
- snížení spotřeby vzduchu o 50–80 %;
- energetická úspora formy – forma se neohřívá, pouze chladí;
- snížení počtu neshodných kusů – zvýšení kvality odlitků a snížení vnitřní poresity; a zlepšení povrchové kvality odlitků;
- nejméně dvojnásobná a vyšší životnost formy;
- snížení výskytu koroze, jak na formě, tak i celém prostředí kolem formy.

6.10 Minimalizování postřiku pomocí práškového dělícího prostředku

Použití práškového dělícího prostředku je jedna z metod, jak minimalizovat velké teplotní rozdíly během jednoho cyklu. Oproti nanášení klasických tekutých mazadel je vrstva suchá. Tím dochází k eliminaci teplotních šoků. Při použití tohoto typu separátoru je potřeba, aby forma byla dokonale chlazená a kapalina v chladicích kanálcích odváděla teplo z tvarových ploch formy.

Správná aplikace nanesení práškového dělicího prostředku na formu není tak jednoznačná, nelze využít klasické postřikové hlavy při otevření formy kvůli znečištění vzduchu v okolí. K aplikaci musí být prášek elektrostaticky nabitý. Nejlepší výsledky byly při zavřené formě a využití vakua. [1]

a) Píst je v komoře v první pozici uzavře nalévací otvor a zapnutím vývěvy se vytvoří vakuum v celé komoře i formě;
b) vytvořený podtlak nasává přes trysku separátor do dutiny;
c) na povrchu dutiny se vytvoří tenká dělicí vrstva;
d) píst je zatažen do výchozí polohy a otevře se licí otvor;
e) do komory se nadávkuje tavenina;
f) poté je pístem vstřelena do dutiny;
g) poslední fází je dotlak pístu;
h) forma se otevře a odlitek je odebrán. [1]

7 Optimalizace výrobního procesu

Pro zkoušku a optimalizaci procesu byl firmou Kovolit Modřice a.s. vybrán problémový odlitek, u kterého docházelo často ke komplikacím při výrobě. Jedná se o součást, u které je výroba momentálně naplánována až do roku 2020. Kde výhledy pro rok 2018 by mělo být 212 000 ks, rok 2019 – 246 500 Ks a rok 2020 – 315 500 ks.

7.1 Popis zkoušky

Forma byla nasazena na vysokotlakém licím stroji Bühler Carat 105 se studenou licí komorou. Jedná se o dvojnásobnou formu s jednou dělicí rovinou. Na pevné polovině je spodní tvarová část odlitku se šesti tenkými jádry a jedním větším středovým. Je zde i vtokový kanál, který do každého odlitku ústí dvěma zářezy. Na pohyblivé polovině jsou hluboké tvarové části a posuvná jádra po předlití otvorů ovládaná pomocí tahačů. Dále je forma vybavena vlnovcem, který je napojen na vakuum.

Obr. 32 Pevná polovina

Obr. 31 Pohyblivá polovina

7.2 Chlazení

Chlazení ve formě je provedeno pomocí čtyř temperančních zařízení od firmy Thermobiehl. Jednotlivá zapojení okruhů jsou barevně zvýrazněny na schématech.

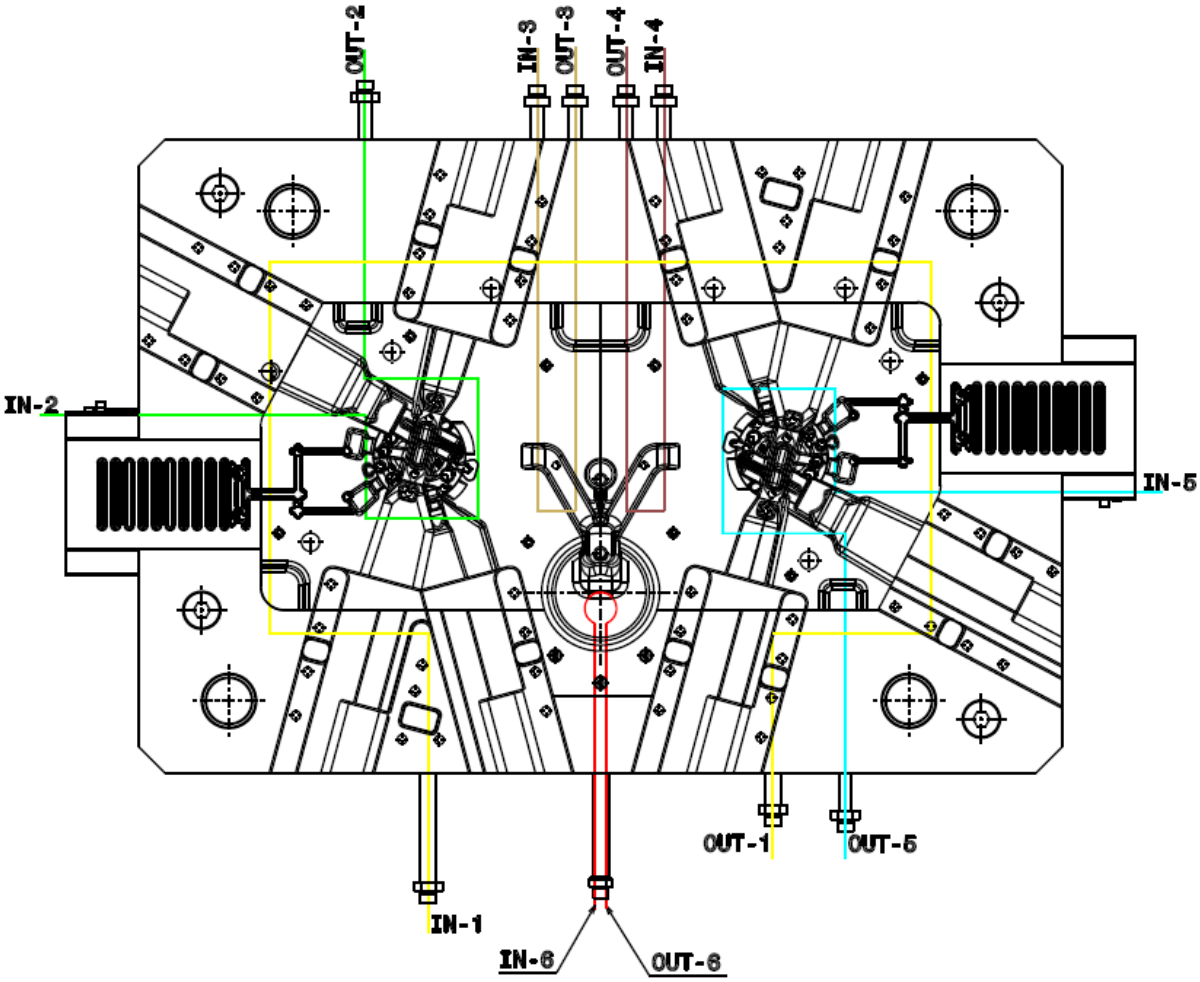
7.2.1 Schéma chlazení pohyblivé poloviny

Okruh č. 1. (označen žlutě) – jedná se o okruh pro ohřev rámu. Tento okruh nebyl zapojen z důvodu rychlejšího zahřátí tvarových vložek a celkové formy.

Okruhy č. 2. a 5. (označeny zelenou a modrou) – zde bylo zapojeno olejové temperační zařízení pro předehřev vložek, a to zejména tvarových součástí. Zařízení bylo nastaveno na teplotu 180 °C, což odpovídá předehřevu daného místa na 200°C.

Okruhy č. 3. a 4. (označeny světle a tmavě hnědou) – předchystáno pro zapojení vodního chlazení, ale nebylo tak uskutečněno, jelikož tenhle okruh nebyl vhodně navrhnut a docházelo k rychlejšímu ochlazení vtokového kanálu než tablety. To vedlo ke vzniku rizika menšího využití dotlaku v poslední fázi.

Okruh č. 6(označen červenou) – je zapojen na vodní chlazení o teplotě 20°C. Tento okruh odvádí teplotu z pevné poloviny, a to zejména z tablety. Zařízení pohání vodu kanály po celou dobu cyklu.



Obr. 33 Schéma zapojení chladicího systému pohyblivé poloviny formy

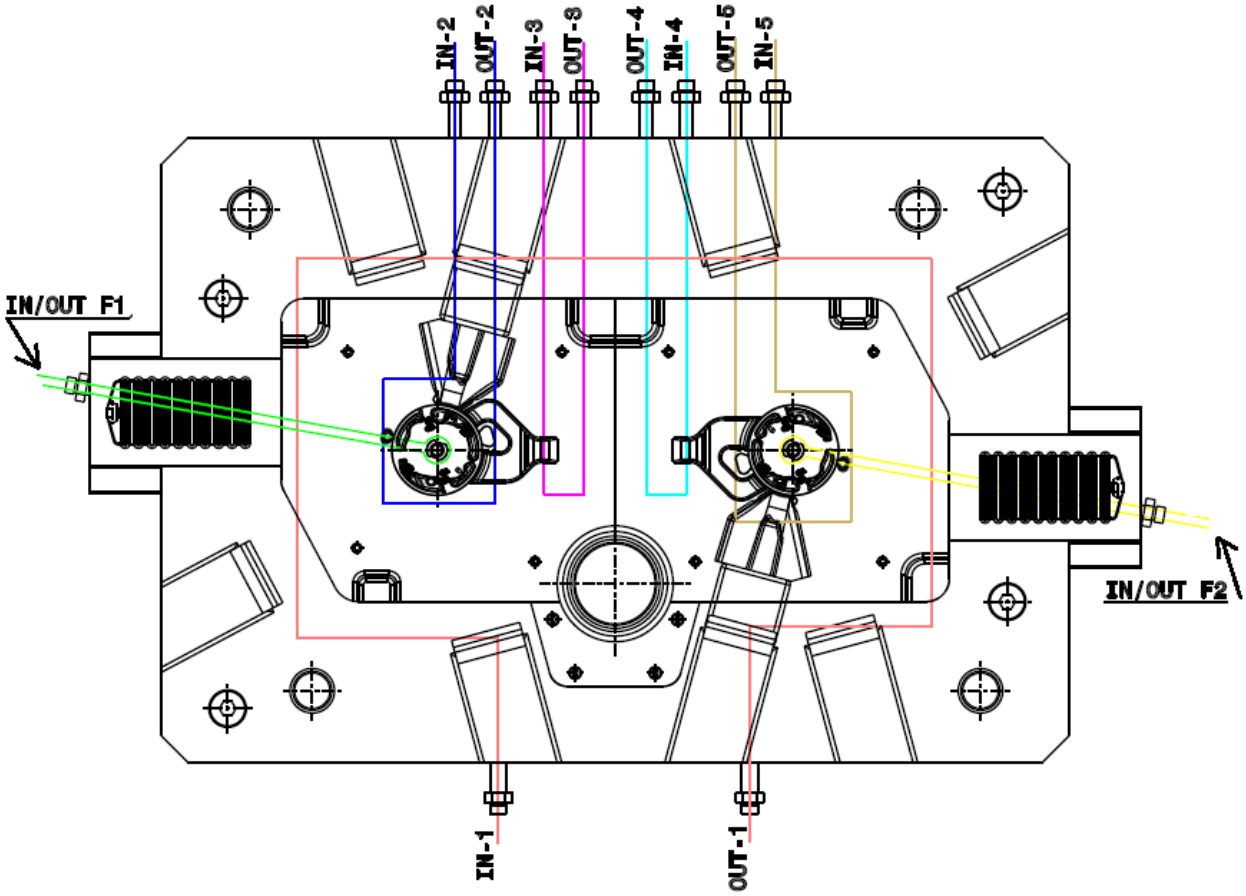
7.2.2 Schéma chlazení pevné poloviny

Okruh č. 1. (označen červenou) – ohřev rámu, který nebyl zapojen.

Okruhy č. 2. a 5. (označeny modrou a hnědou) – zde bylo zapojeno olejové temperační zařízení pro předehřev vložek a to zejména tvarových součástí. Zařízení bylo nastaveno na teplotu 180 °C měřenou na vstupu zařízení, což odpovídá předehřevu daného místa na 200 °C.

Okruhy č. 3 a 4. (označeny růžovou a tyrkysovou) – jsou zapojeny na vodní chlazení o teplotě 20°C, které odvádí teplotu z vtokového kanálu. Proud vody začne chladicím systémem proudit ihned po zavření formy po dobu 20 s.

Okruhy F1 a F2 (označeny žlutou a zelenou) – Temperace středového jádra v pevné polovině formy je zapojena na vodním temperačním zařízení a nastavena na předehřev na teplotu 150°C. Permanentně zapnuta.

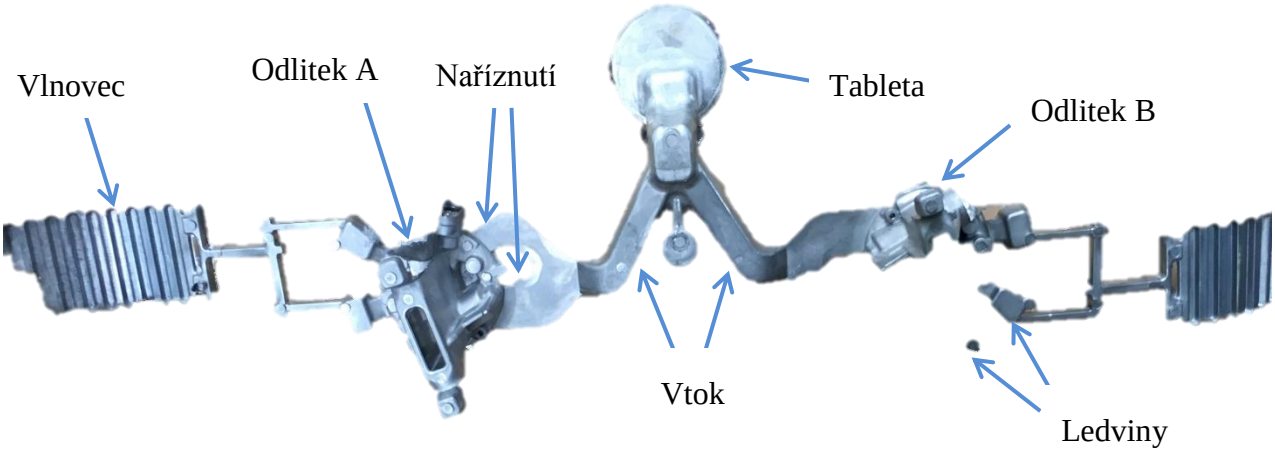


Obr. 34 Schéma zapojení chladicího systému pevné poloviny.

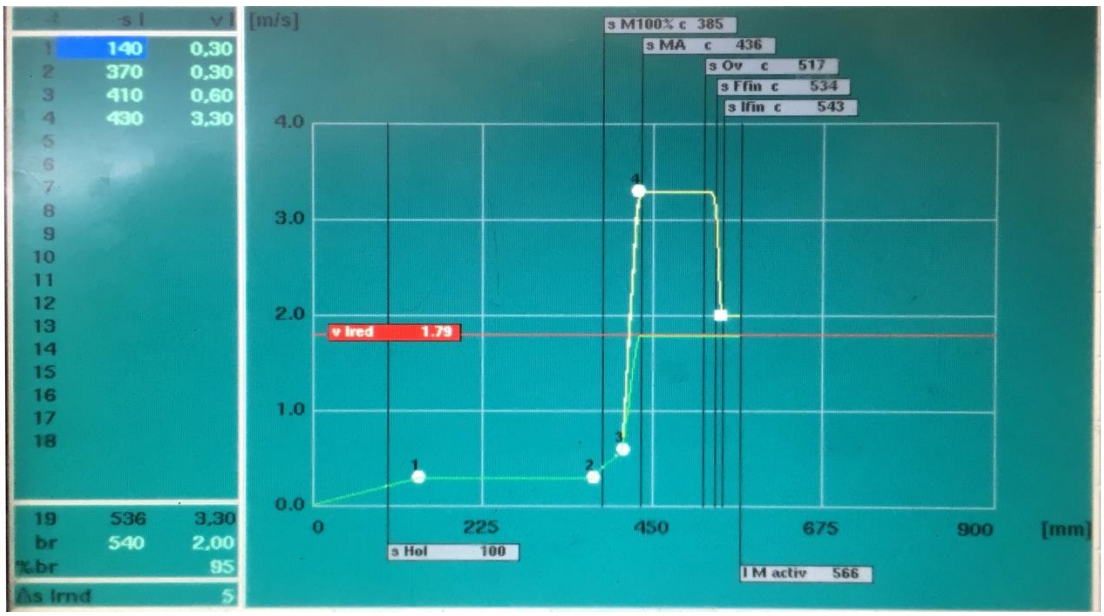
Na základě zkušeností technologa firmy Kovolit nebyl na formě zapojen ochlazovací okruh pro vtok, viz schéma na obr. 34. Přehřátá část se řešila místním zachlazením pomocí delšího programu postřiku, což vede k dalším důsledkům, kterým se v praxi někdy nemůžeme vyhnout. V našem případě se to projevilo na vzniku mikrotrhlin, viz obr. 38 b), c), kdy docházelo na povrchu k velkým teplotním šokům.

7.3 Popis cyklu výroby odlitku

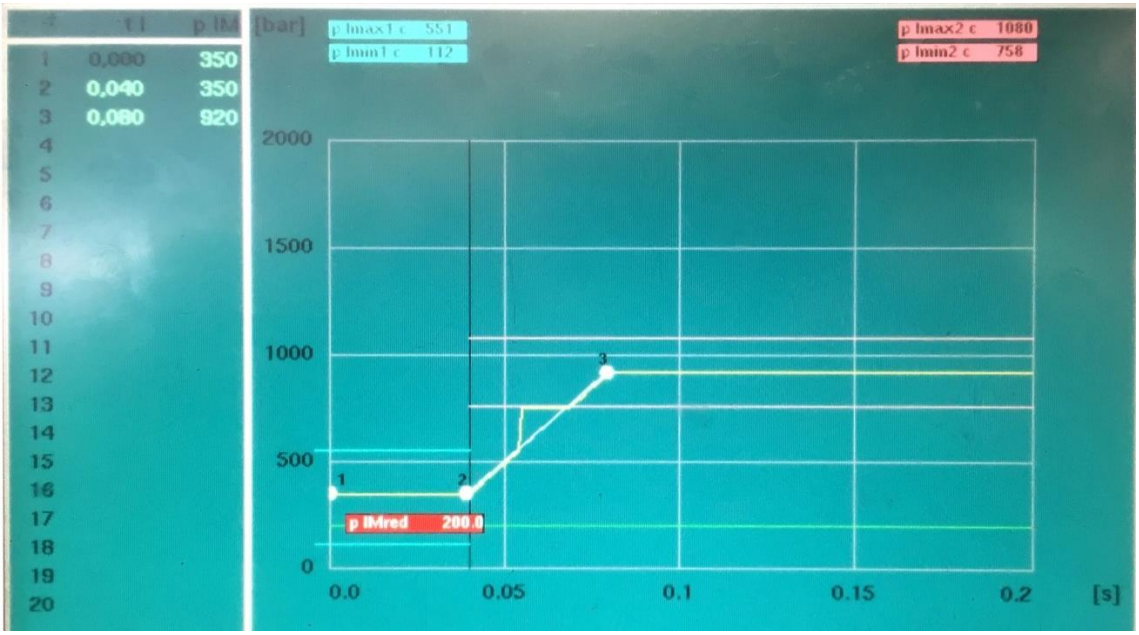
- Cyklus začíná ošetření povrchu formy postřikovou hlavou WOLLIN, která je připevněna k robotovi;
- po odjetí postřikové hlavy se forma uzavře;
- nadávkování kovu z udržovací pece od firmy StrikoWestofen o hmotnosti 2,9 kg;
- tavenina je pístem vstříknuta z komory do dutiny formy podle předem nastavené křivky, popisující plnění a následný dotlak na obr. 36 a 37. Kov v peci je udržován na teplotě 675 °C. Tavenina před nalitím do dávkovací pece je odplyněna. Chemické složení slitiny, které má označení ADC12 je uvedeno v tabulce 3;
- po ztuhnutí odlitku se rozevře forma a odlitek je vytlačen z formy pomocí vyhazovačů a odebrán robotem;
- celistvost odlitku je potvrzena přejetím přes laserové snímače;
- robot potopí díl v ochlazovací vaně, kde se zároveň i očistí;
- následně je odlitek přemístěn do ostřihovacího zařízení, kde se odstraní vtok, ledvinky, vlnovce a otřepy;
- vyhozením odlitku z ostřihovadla se odlitek sklouzne k pracovníkovi, který je zkontroluje, označí a založí do bedny, kde pokračují na kontrolu nebo do obrobny.



Obr. 35 Popis odlitku.



Obr. 36 Nastavení plnící křivky na vysokotlakém licím stroji.



Obr. 37 Nastavení křivky dotlaku na vysokotlakém licím stroji.

Tabulka 2 Předepsané chemické složení slitiny ADC12. [27]

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti	Jiné		Al
											Každý	Celkem	
9,6 - 12,0	1,3	1,5 – 3,5	0,5	0,3	-	0,5	1,0	0,20	0,30	0,15	0,05	0,25	Zbytek

Al-Si-Cu– slitiny z hliníku (ADC12) mají vysoké mechanické a slévárenské vlastnosti, proto se tato slitina často používá pro výrobu automobilních dílů s komplikovanými tvary, jako jsou například: bloky válců, převodové skříně a jiné. [28]

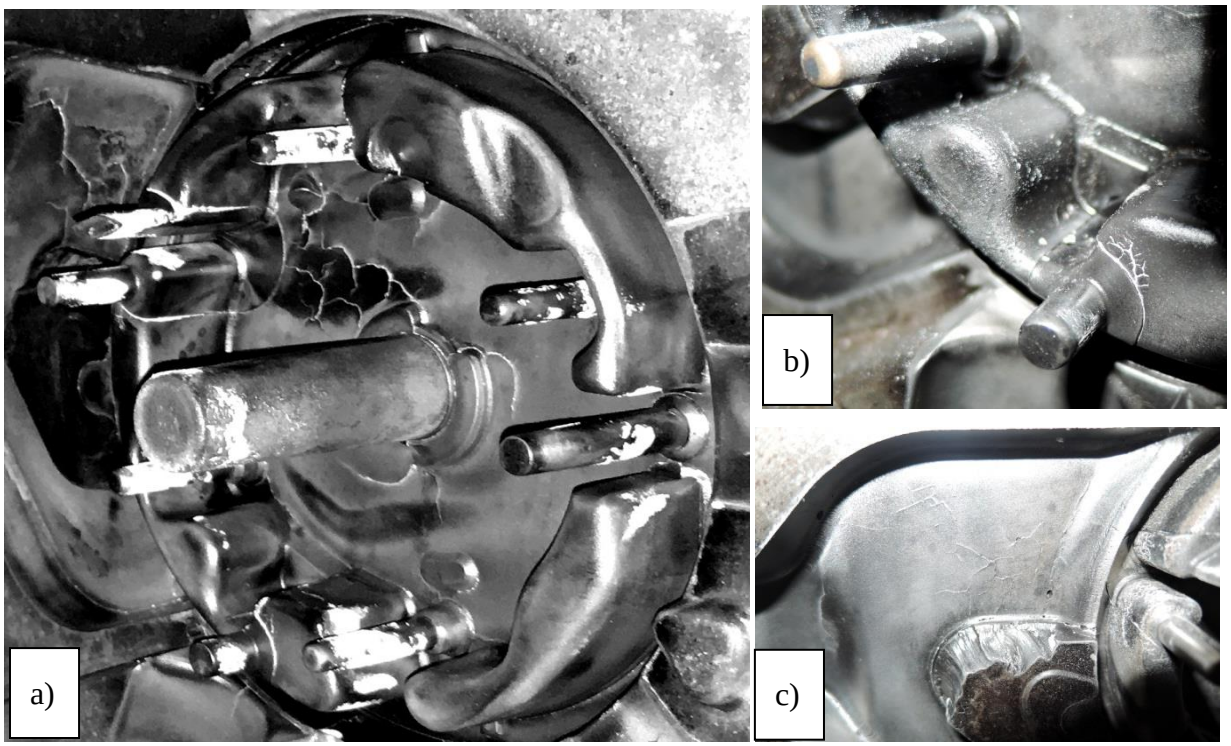
Tabulka 3 Mechanické vlastnosti slitiny ADC12. [29]

Hustota (g/cm^3)	Rozmezí tavící teploty (°C)	Tepelná vodivost (W/m·K)	Pevnost v tahu (MPa)	Prodloužení (%)	Tvrdost (HB)	Únavová pevnost ($5 \cdot 10^8$ cyklu, MPa)
2.82	520-580	92	310	2.5	75	145

7.4 Zkouška – zhodnocení současného stavu

Před zahájením lití byl vizuálně prohlédnut aktuální stav formy. Obzvlášť tvarové části byly zanesené, opotřebované a popraskané viz obr. 38, kde jsou vidět mikrotrhliny, přiletováný hliník na jádrech a erozi vtokové části formy. Tyto druhy poškození výrazně snižují životnost formy i jader, následně zvyšují zmetkovitost odlitků, což vede k předčasné odstávce výroby a nutné údržbě. Před zahájením zkoušky údržba dočisťovala bruskou jádra, čímž vzhledově jejich práce splnila účel, avšak funkčně zhoršila vlastnosti materiálu. Postupným broušením se nejen odstraňuje nalepený hliník, ale narušuje se i nitridační vrstva a povrch se tím stává náchylný k dalším vadám a poškozením.

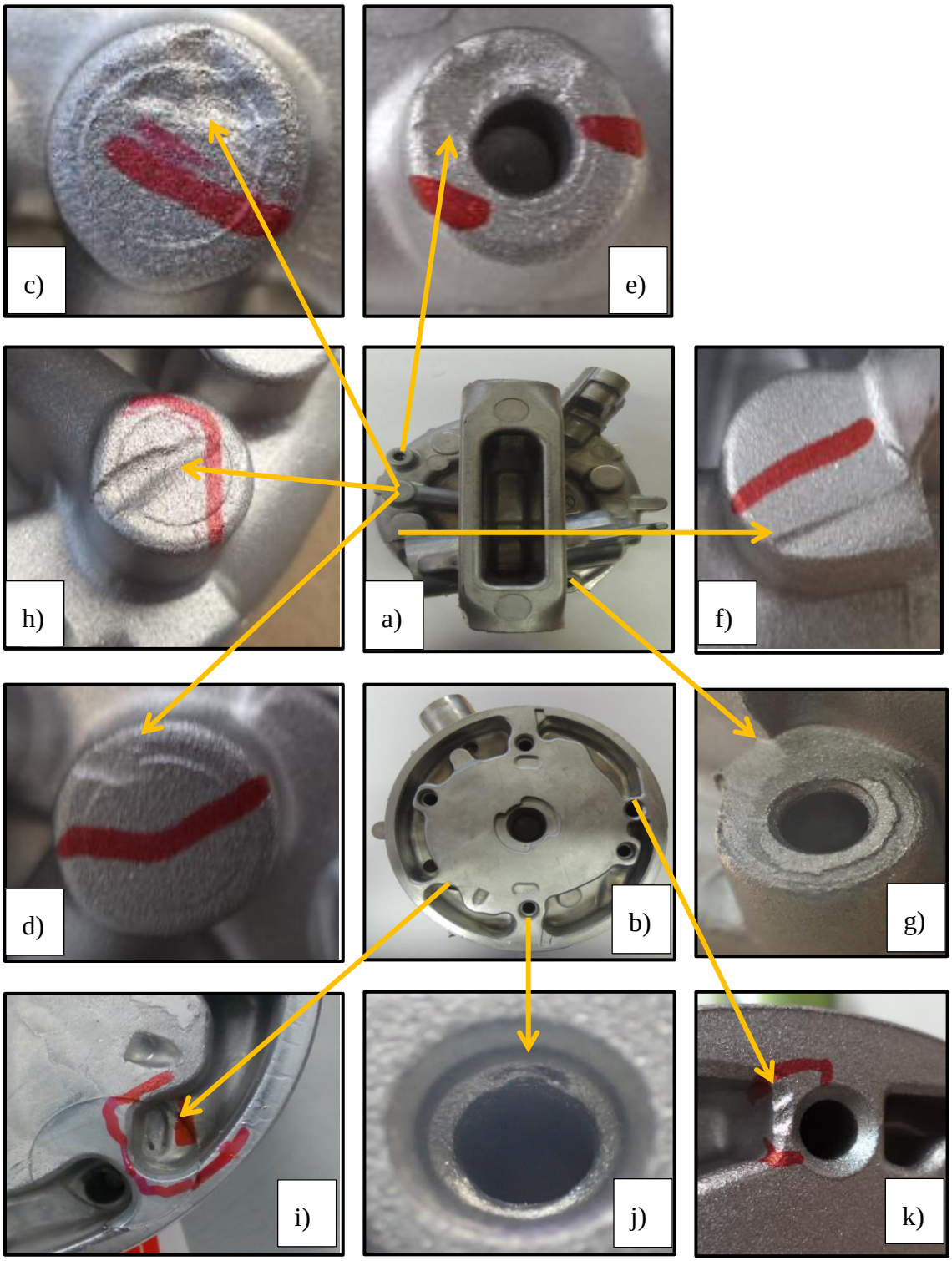
Na formě již přesně nelícovaly dosedací plochy a docházelo k prostříknutí kovem v dělící rovině. Celkový stav formy je dle technologa již krátce před samotným koncem životnosti, ale s problémy na odlitku se potýkají již od začátku výroby.



Obr. 38 a) Celkový pohled na opotřebované a zanesené tvarové části formy a zejména jádra, b) detailní pohled na mikrotrhliny na tvarové části, c) eroze vzniklá ve vtoku před naříznutím.

7.5 Kontrola a kritické oblasti na odlitku

Každý odlitek je opticky zkontrolován pracovníkem a poté založen do bedny. Jednou za hodinu se odebere několik vzorků na zkoušku rentgenem. Na obr. 39 jsou znázorněná místa s často vznikajícími vadami, které jsou převážně mechanického charakteru, jako je například: otlačení, zmáčknutá hrana z ostřihu, zadřené jádro, ulomené jádro, vypadlý tvar anebo dojde k nalepení dělicího prostředku, či materiálu na formu.

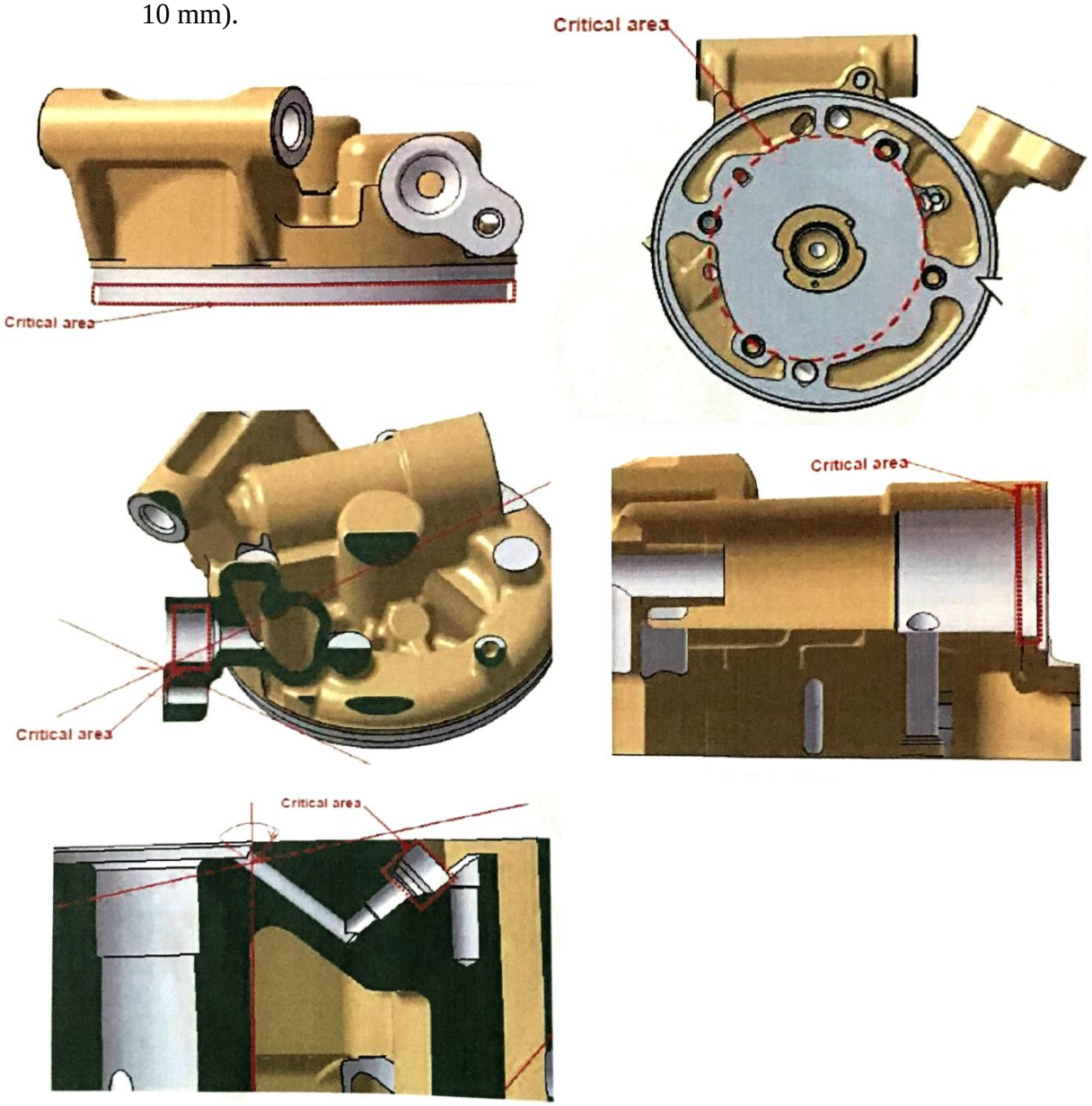


Obr. 39 a), b) pohled na odlitek, c),d) otlačená hrana, e), f) namačkaná hrana z ostřihu, g)nalepený dělící prostředek, h) nalepený materiál, i) ulomené jádro, j) zadřené jádro, k) vypadlý tvar.

7.6 Hodnocení vnitřní jakosti odlitku na rentgenu:

a) Kritické oblasti:
   - maximální povolená velikost jednoho póru je 0,5 mm;
   - póry menší jak 0,2 mm bez povšimnutí;
   - minimální vzdálenost mezi dvěma póry je 1 mm;
   - maximální počet pórů v kritické oblasti je 1 pór/3 mm^2 (3 mm^2 = 1 mm x 3 mm).

b) Obecné oblasti:
   - maximální povolená velikost jednoho póru je 3 mm;
   - póry menší jak 1 mm bez povšimnutí;
   - minimální vzdálenost mezi dvěma póry je 1 mm;
   - maximální počet pórů v kritické oblasti je 3 póry/100 mm^2 (100 mm^2 = 10 mm x 10 mm).

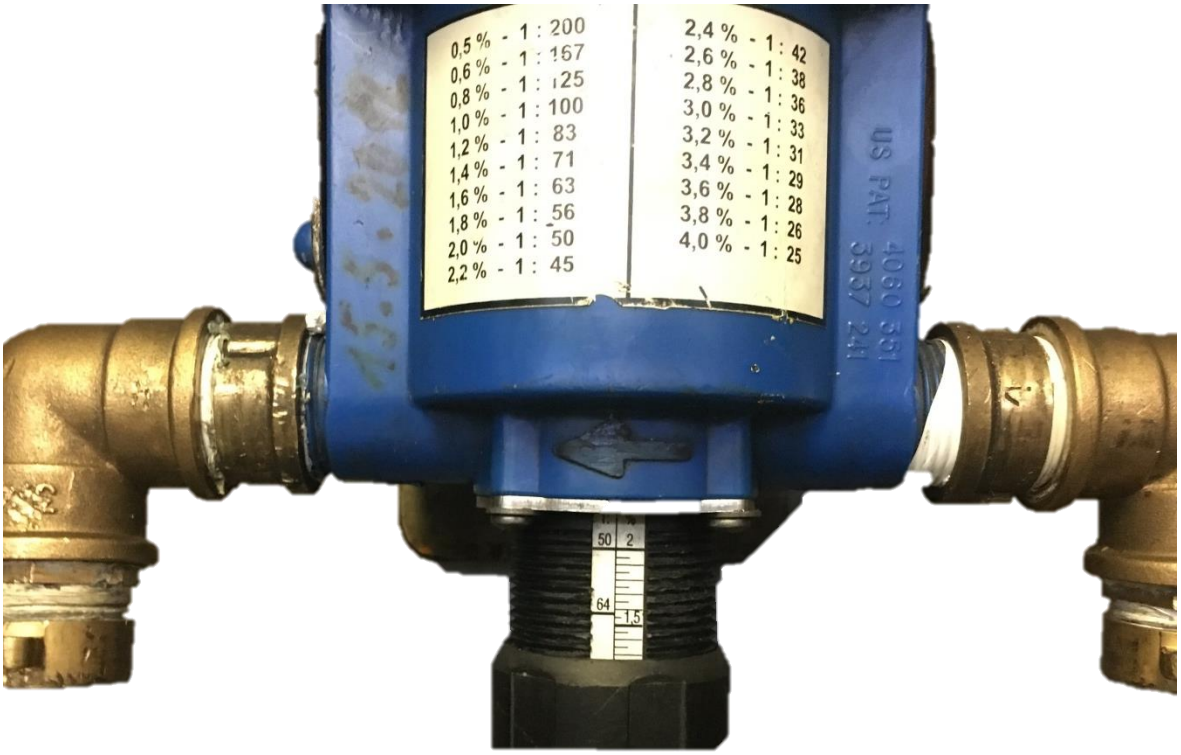


Obr. 40 Znázorněné kritické oblasti, při kontrole rentgenem.

7.7 Odlévání odlitku při použití současného separátoru L-CA CP 798

Při zahájení zkoušky se sledoval a analyzoval stávající průběh výroby a převážně příčiny spojené s aktuálně používaným dělicím prostředkem od firmy Henkel s prodejním označením L-CA CP 798, který je uveden v technologickém postupu viz příloha 1. Jedná se o dělicí prostředek, který je možné použít i při vyšších poměrech ředění, a to až kolem 1:160. Zdravé odlitky vycházející z této série vyhovovaly kontrole dle požadavků zákazníka. Ovšem jsou zde potíže s již výše zmíněnými jádry a dalšími vadami v dutině formy, které vedou k vyřazení poškozených dílů.

Každý odlitek byl po ostřižení robotem předán na dopravník k zaměstnanci, který zkontroloval kritická místa, zda se na nich nenachází některá z vad z obr. 39. Vyhovující odlitky byly uloženy do krabice pro další výrobní operace. Zvýšená pozornost byla věnována optické kontrole zaměřené zejména na otvory, kde dochází k jejich otírání při vytahování z formy. Aby se předcházelo tomuto poškození, obsluha tlakového licího stroje v průběhu lití zvyšovala koncentraci separátoru, a tím se snažila dosáhnout vyššího mazacího účinku. Původní směšovací poměr dle předpisu technologické karty viz příloha č. 1 byl nastaven na 1:75, což odpovídá cca 1,3 % koncentraci viz. obr. 41, dle technologické karty viz příloha. 1.

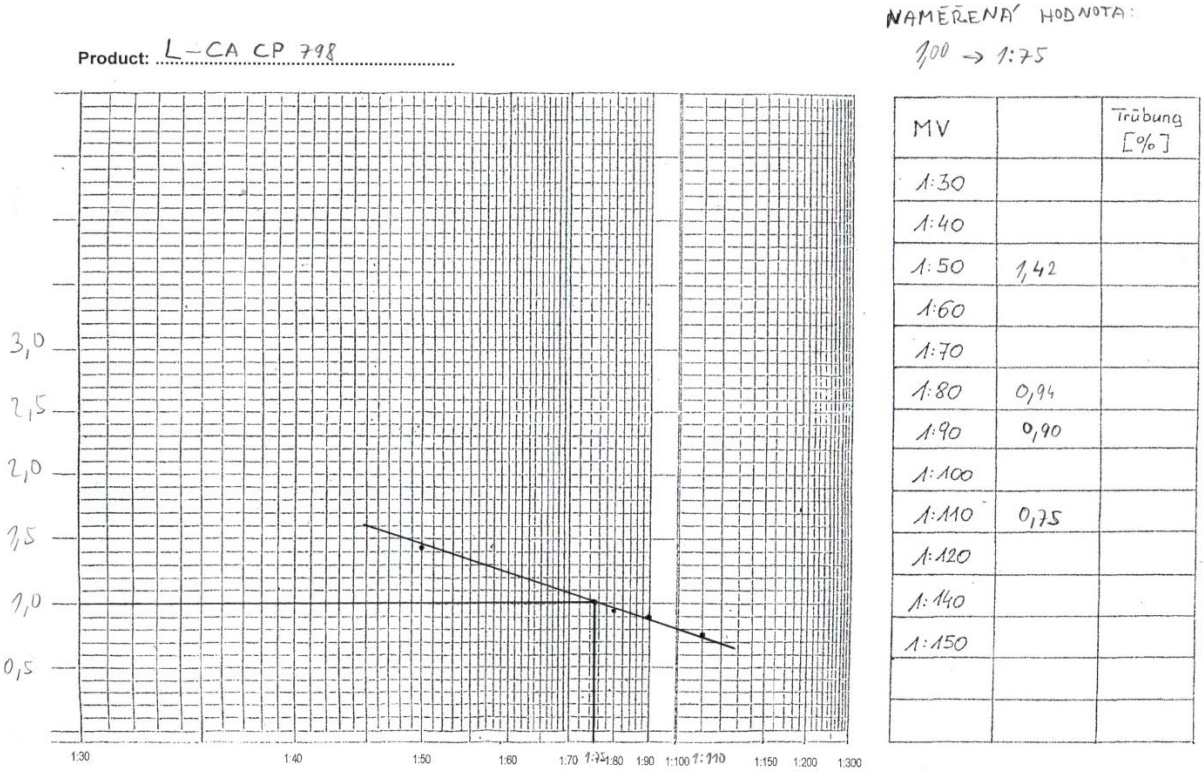


Obr. 41 Původní nastavení směšovacího poměru 1:75.

7.8 Kontrola nastavení koncentrace separátoru L-CA CP 798

Vzhledem k tomu, že nastavení koncentrace na směšovacím zařízení je pouze orientační, je nezbytné pro stanovení přesné koncentrace sestavit kalibrační křivku pro daný separátor.

Pro zkoušku byl použit kolorimetr LaMotte DC-1200. Nejdříve byla provedena kalibrace přístroje pomocí vody, která se používá v oběhu slévárny pro ředění separátoru. Následně byly nachystány nádoby pro přípravu čtyř rozdílných koncentrací stávajícího separátoru. V první nádobě byla připravena směs separátoru s vodou v poměru 1:50. Další láhve byly nachystány v poměrech 1:80, 1:90 a 1:110. Každý vzorek je důkladně promíchán, poté je postupně odebrána část do zkumavky a založena do přístroje, který vyhodnotí skutečnou koncentraci separátoru. Jednotlivé výsledky jsou zaznačeny v grafu. Čtyři vzorky stačí k vytvoření kalibrační křivky pro daný separátor. Následně je odebrán vzorek přímo ze směšovacího přístroje, změřena jeho hodnota a zanesením do vytvořeného grafu stanovena jeho skutečná koncentrace. Na grafu u obr. 42 aktuální koncentrace odpovídá poměru 1:75.



Obr. 42 Kalibrační křivka původního separátoru L-CA CP 798.

7.9 Měření tepelného pole formy

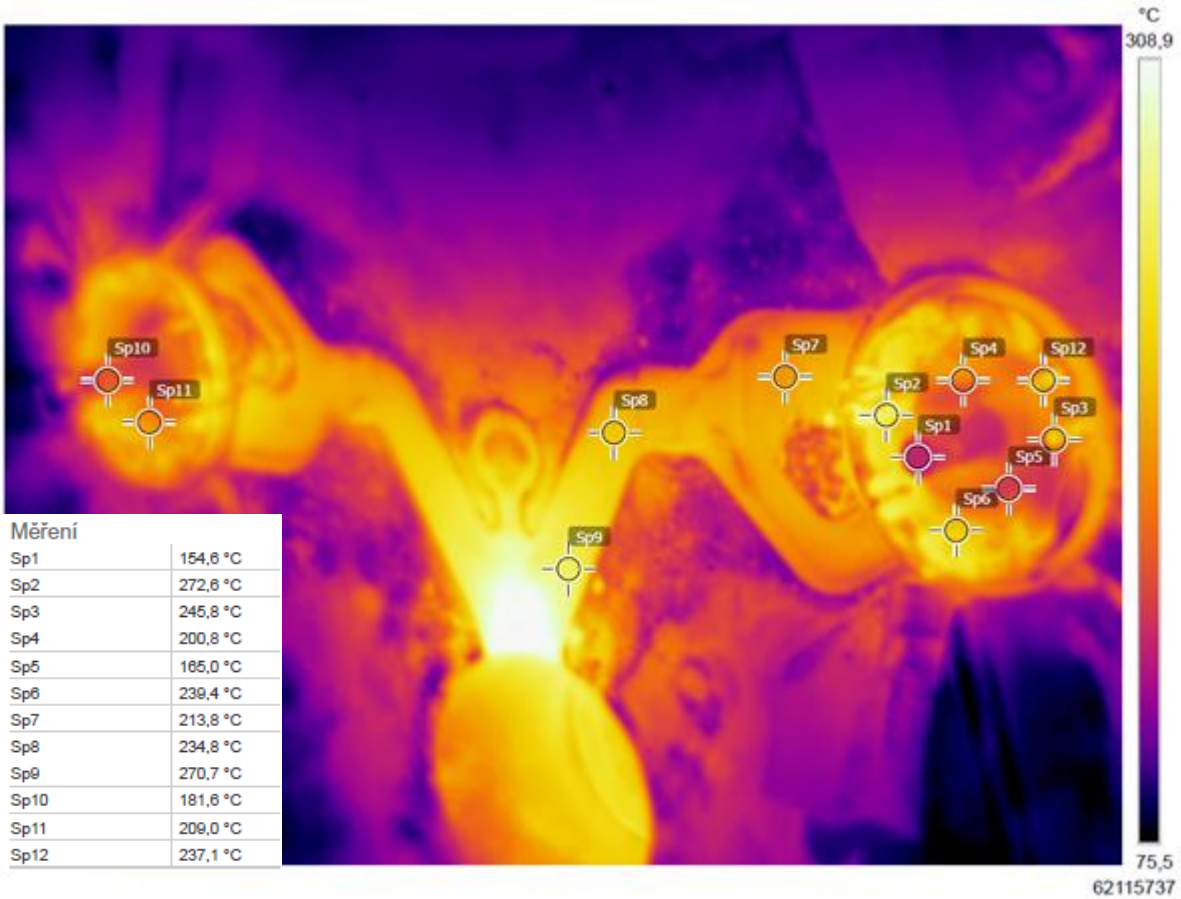
Pro stanovení a optimalizaci teplotního pole formy byly během pracovních cyklů pořízeny termo snímky pomocí termo kamery FLIR T420, kde emisivita byla automaticky nastavena na hodnotu 0,95. Teplotní rozsah kamery byl nastaven od 0 °C–650 °C. Pro porovnání obou druhů separátorů byly pořízeny termo snímky pevné i pohyblivé poloviny formy, a to vždy před a po ošetřovacím cyklu. Zvláštně jsme se zaměřili na sejmutí teplot v tvarových částech.

Po vyjmutí odlitku robotem se pozastavil stroj, otevřely se bezpečnostní dveře a byly pořízeny termo snímky v co nejkratším čase tak, aby nedocházelo k ochlazování formy sáláním. I přes toto krátké odstavení trvalo cca 20 minut, než se forma dostala zpět do stálého, pracovního, teplotního režimu, kdy mohlo dojít k dalšímu pozastavení. Další fotografie byly pořízeny po skončení programu postřiku.

7.9.1 Měření teplotního pole formy před postřikem stávajícím separátorem L-CA CP 798

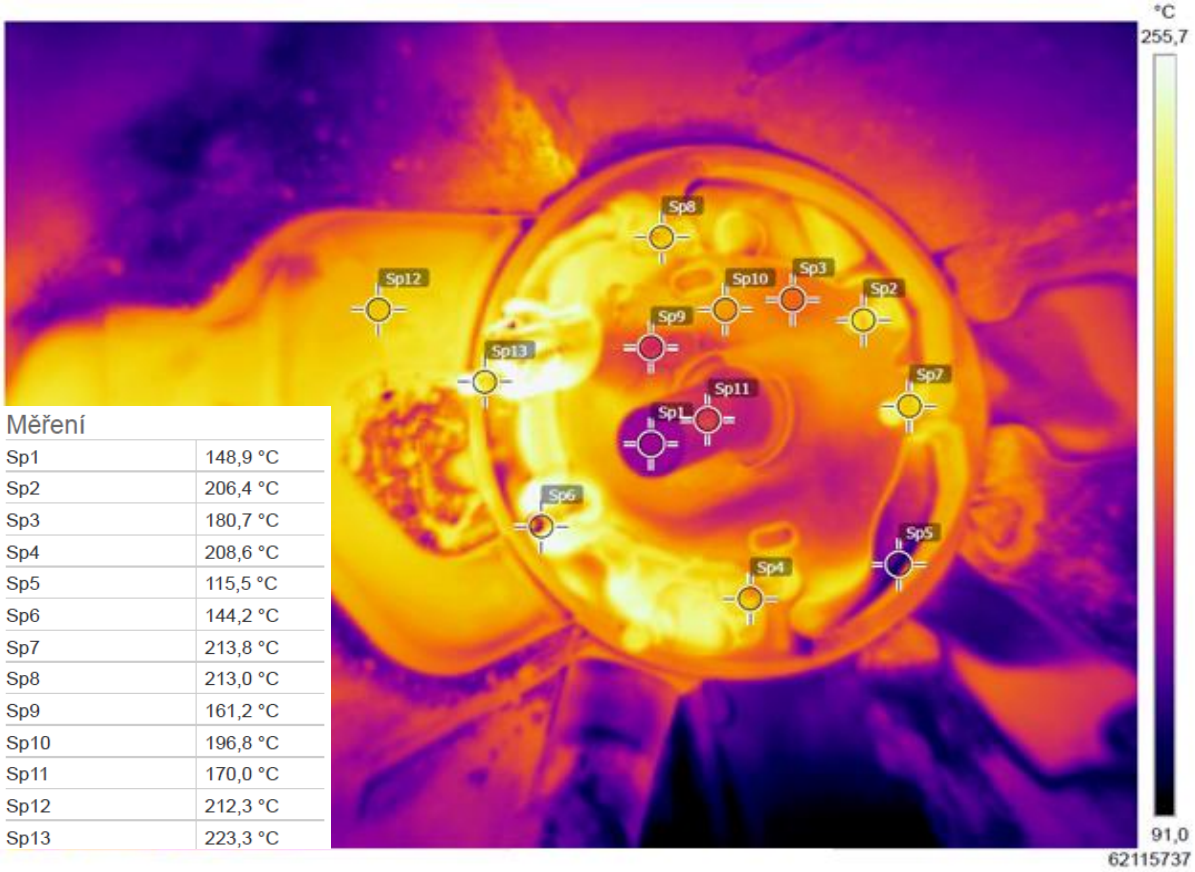
Na obr. 43 je znázorněno rozložení teplotního pole pevné poloviny před postřikem. Forma je již v ustáleném pracovním režimu po několika hodinách výroby a na snímku lze vidět, že povrch je nerovnoměrně zahřátý. Jsou zde barevně rozlišeny teploty, kde fialová značí nejnižší teploty a zářivě žlutá označuje přehřátá místa. Teplotní rozdíly na tvarových částech se rozchází o více než 100 °C. Příkladem je středové jádro, které je na snímku označeno bodem Sp1 a odpovídá teplotě 154,6 °C a k tomu vedlejší stěna, která je označena bodem Sp2 je zahřáta na 272,6 °C. Další nejvíce přehřáté místo je přímo na začátku vtokové soustavy, kde vstupuje nejteplejší kov přímo z komory.

Optimální rozdíl teplot na správně temperované formě by se měl pohybovat kolem 30 °C. Tím se dosahuje lepšího usměrněného tuhnutí, vyšší přesnosti odlitků, menšího tepelného namáhání a vyšší životnosti formy.



Obr. 43 Termo snímek pevné poloviny před postřikem. Dělicí prostředek L-CA CP 798.

Na obr. 44 je detailní záběr teplotního pole na tvarové části pravého odlitku na pevné polovině. Vzhledem k tomu, že navržené chlazení, vtok a umístění odlitků ve formě je souměrné a na termo snímcích jsou v minimálních rozdílech teploty, bylo rozhodnuto, že budeme detailně řešit pouze jednu stranu formy. Středové jádro na čelní ploše dosahuje nejnižší teploty, která je skoro hraniční s pracovní teplotou dělícího prostředku. Dochází-li k příliš velkému zchlazení, dělící prostředek neulpí na povrchu, nevytvoří ochranný film a neplní tak svoji primární funkci. Jádro se pak zadírá a při vyhazování odlitku dochází k naletování povrchu hliníkem viz obr. 37 a), což podporuje další poškození jádra, nepřesnosti rozměrů děr a následné vyřazení neshodných odlitků.



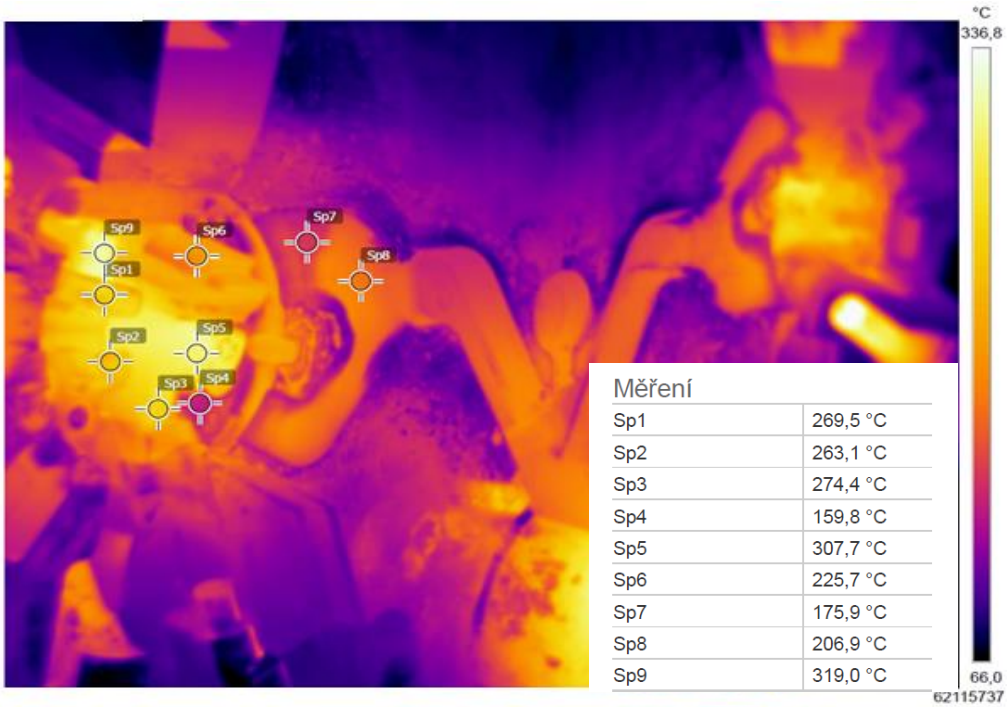
Měření	
Sp1	148,9 °C
Sp2	206,4 °C
Sp3	180,7 °C
Sp4	208,6 °C
Sp5	115,5 °C
Sp6	144,2 °C
Sp7	213,8 °C
Sp8	213,0 °C
Sp9	161,2 °C
Sp10	196,8 °C
Sp11	170,0 °C
Sp12	212,3 °C
Sp13	223,3 °C

Obr. 44 Termo snímek pevné poloviny s detailním záběrem na tvarové části před postřikem. Dělicí prostředek L-CA CP 798.

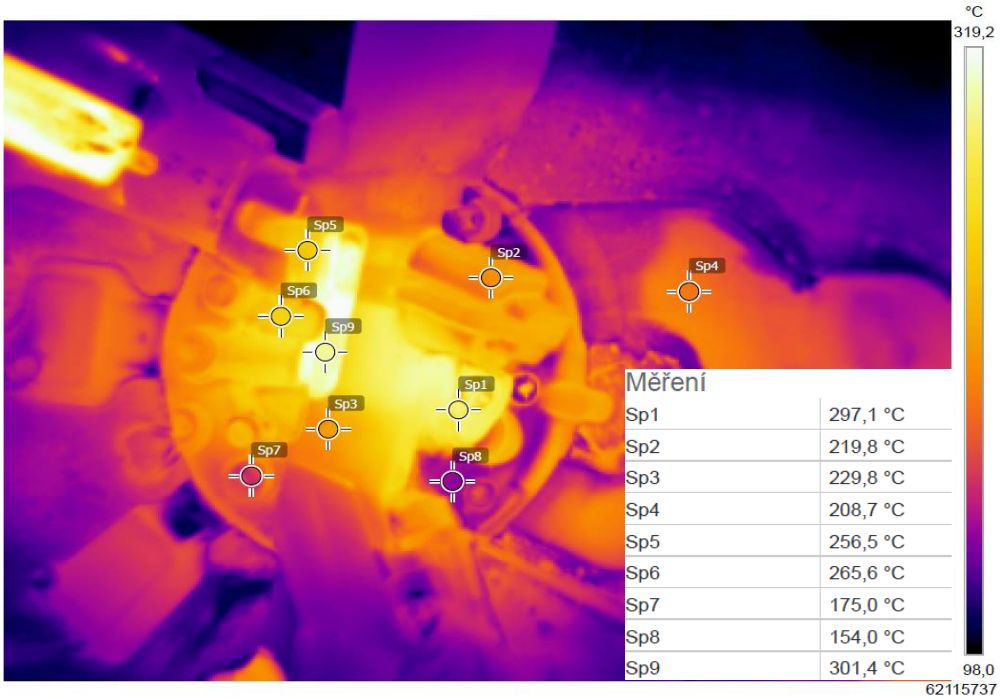
Na obr. 45 je zaznamenané teplotní pole pohyblivé poloviny. Zde je vidět, že rozdíl teplot je vyšší než u pevné poloviny. Maximální rozdíl teplot v tvarových částech je více než 140°C, což zhoršuje rovnoměrné tuhnutí odlitku ve formě.

Na obr. 46 je vyfocené teplotní pole tvarové části pohyblivé poloviny. Jak je patrné na detailnější fotce, bylo termo kamerou zachyceno další problémové místo, kde by mohlo docházet ke vzniku tepelného uzlu. U označeného bodu Sp9 dochází k místnímu přehřátí a forma je tam nedostatečně ochlazena. Jedná se o hluboké vybrání procházející napříč tvarem dutiny a uprostřed vychází tenké jádro. Ze schématu chlazení na obr. 34 je patrné, že chladicí kanály jsou vedeny okolo obvodu odlitku a ochlazení tohoto místa je málo účinné. Vhodným řešením by mohlo být efektivnější využíti místního ochlazení pomocí postřiku, kdy ale může docházet ke dvěma komplikacím:

a) Vybrání je natolik úzké a přehřáté, že by se dělicí prostředek začal odpařovat již na hraně a vytvořil by se parní polštář, který by veškerý další separátor odrážel a bránil by tak ochlazení dutiny. Zároveň by nedošlo k ošetření vnitřních stěn.
b) Problémové místo by se natolik zchladilo, že by zůstávaly kapky separátoru v dutině a po zalisování kovu by v odlitcích vznikaly bubliny. To neodpovídá našemu stavu, jelikož na rentgenové zkoušce nebyly nalezeny žádné vady viz obr. 49



Obr. 45 Termo snímek pohyblivé polociny před postřikem s dělicím prostředkem L-CA CP 798.



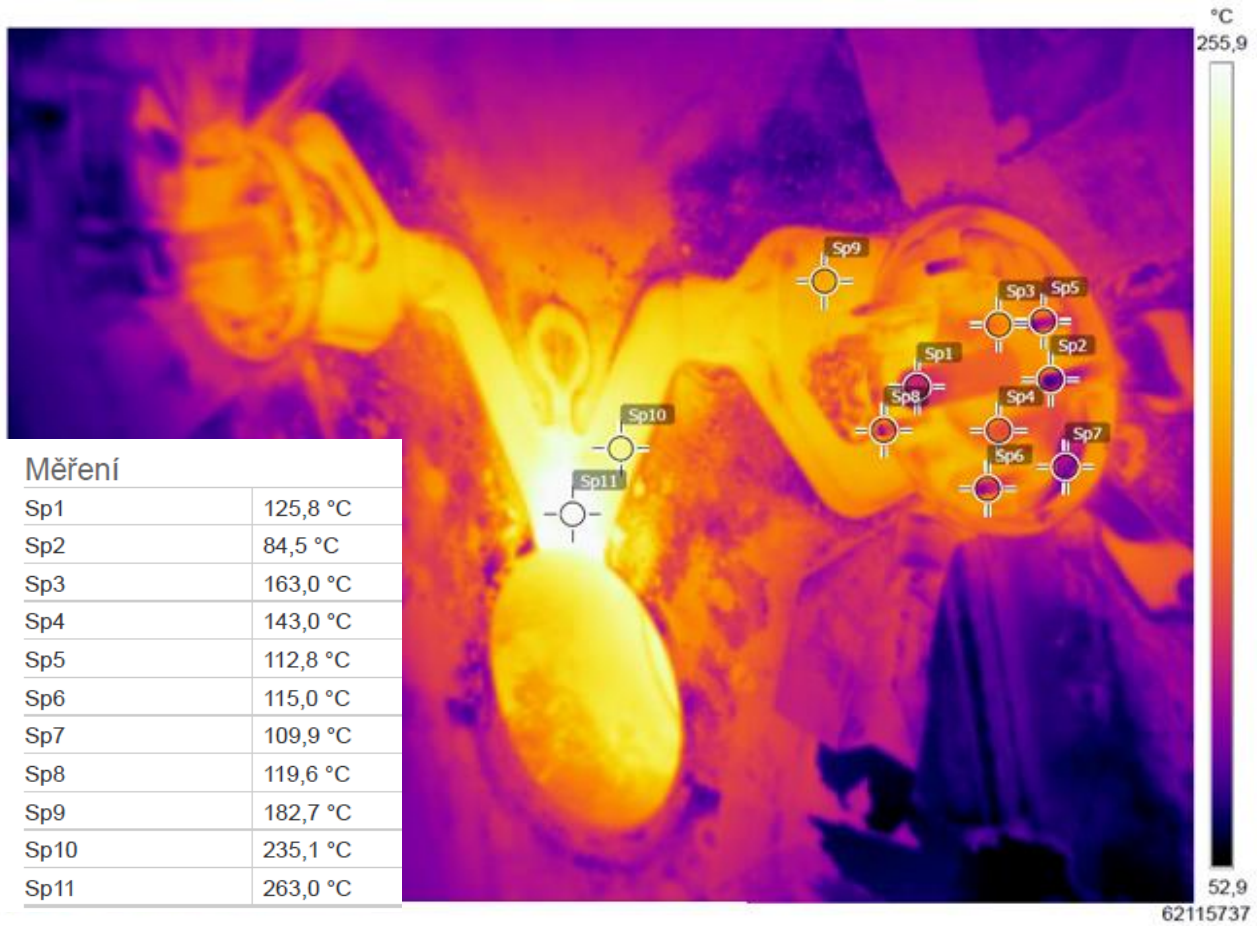
Obr. 46 Termo snímek pohyblivé poloviny před postřikem s dělicím prostředkem L-CA CP 798.

7.9.2 Měření tepelného pole formy po postřiku stávajícím separátorem L-CA CP 798

Na obr. 47 je zaznamenáno teplotní pole pevné poloviny po provedení postřiku původním dělicím prostředkem. Porovnáním teploty před postřikem viz obr. 43 a po postřiku obr. 47 tak je vidět, že průměrná teplota byla snížena o 60 °C. Rozdíly teplot ve formě se snížily, ale jejich rozložení není stále rovnoměrné.

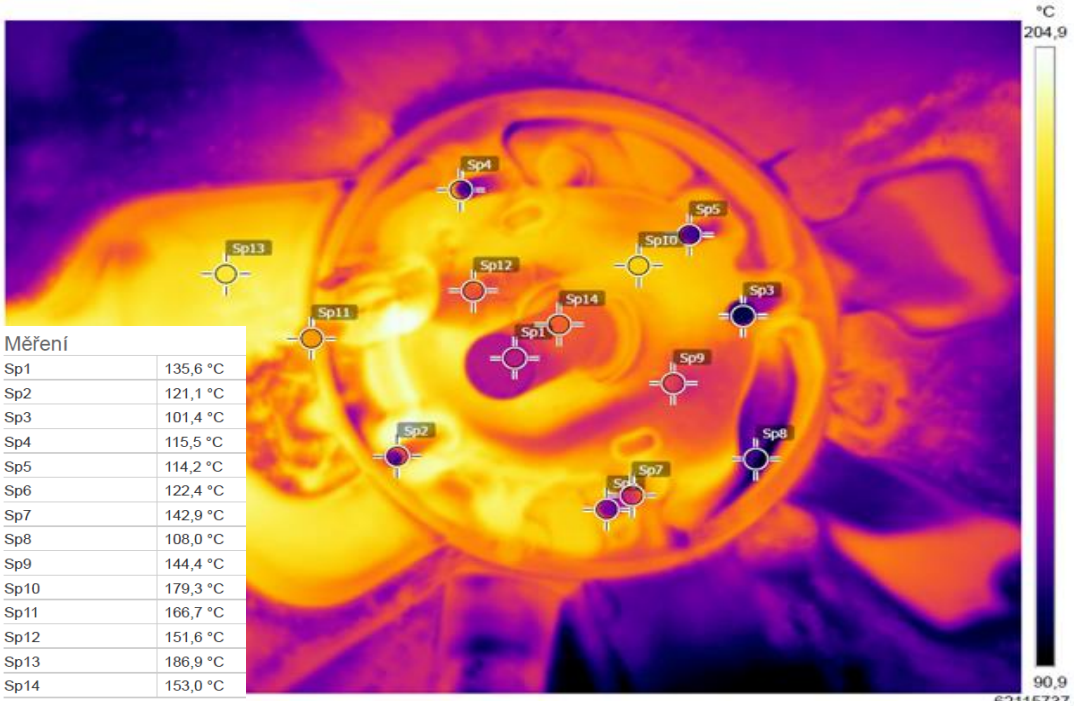
Rozptýlení postřiku musí zejména namazat veškeré tvarové části formy, které jsou ve styku s odlitkem, a ochladit přehřátá místa. Současně dochází k namazání pohyblivých částí formy, jako jsou: tahače jader a vyhazovače. V našem případě byly v postřikovací hlavě umístěny trysky s větším průměrem a tím i větším chladicím účinkem, což se nepříznivě projevilo nadměrným místním ochlazením zejména na čelech jader označené body Sp1, Sp2, Sp3, Sp4, Sp5, Sp6 viz obr. 48.

Celkové teploty formy se pohybují spíše u spodní hranice rozsahu účinnosti separátoru a místo vytvoření filmu na povrchu mohou zůstávat kapky v dutinách, nebo stékat pod stroj. Tím není dosaženo, jak správné funkce dělicího prostředku a zároveň dochází i ke zbytečně vysoké spotřebě. Při nižších teplotách forma trpí mechanickým opotřebením a při za lisování roztaveného kovu dostává teplotní šoky, které vedou ke vzniku trhlin na povrchu.



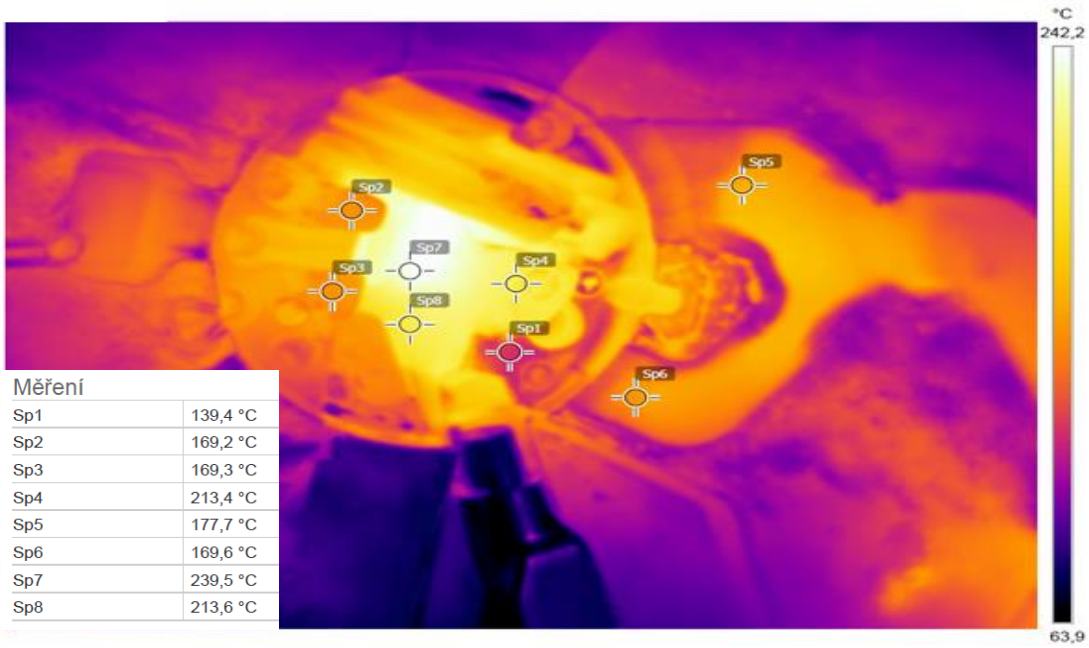
Měření	
Sp1	125,8 °C
Sp2	84,5 °C
Sp3	163,0 °C
Sp4	143,0 °C
Sp5	112,8 °C
Sp6	115,0 °C
Sp7	109,9 °C
Sp8	119,6 °C
Sp9	182,7 °C
Sp10	235,1 °C
Sp11	263,0 °C

Obr. 47 Termo snímek pevné poloviny po postřiku s dělicím prostředkem L-CA CP 798.

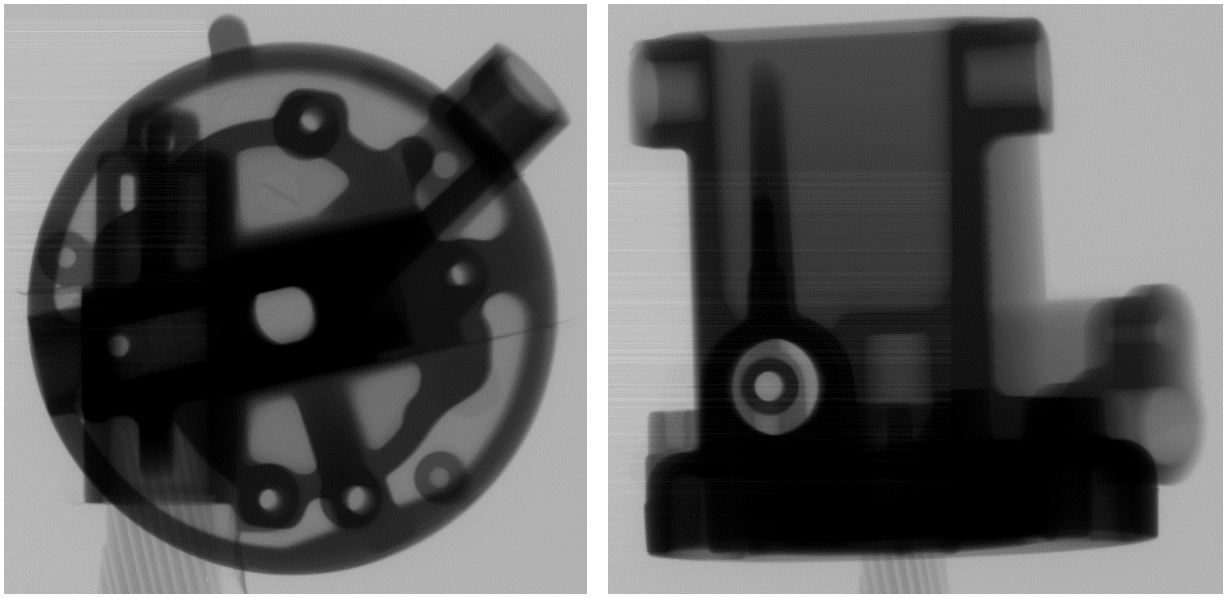


Obr. 48 Termo snímek pevné poloviny s detailním záběrem na tvarové části.
Dělicí prostředek L-CA CP 798.

Na obr. 49 je zachyceno teplotní pole tvarové části pohyblivé poloviny po postřiku. Teplotní rozložení na pohyblivé polovině je poměrně rovnoměrné, až na místo kolem označeného bodu Sp 7, kde je již předtím zmíněna hluboká dutina ve formě, a dochází zde k přehřívání oproti okolním stěnám. I přesto se v tomto komplikovaném místě povedlo snížit teplotu téměř o 60°C a to pomocí většího počtu nasměrovaných trysek. Naměřená teplota 239,5°C v dutině byla vyšší oproti okolním částem formy, což u použitého postřiku je na horní hranici funkčnosti dělícího prostředku a kvůli odporu parního polštáře nedochází k ošetření vnitřních ploch.



Obr. 49 Termo snímek pohyblivé poloviny detailní záběr na tvarové části po postřiku.
Dělicí prostředek L-CA CP 798.



Obr. 50 Rentgenové snímky odlitku, odebraný během prvního dne zkoušení.

Na obr. 50 jsou zobrazeny rentgenové snímky, které ukazují, že i přes nerovnoměrné teplotní pole, byla vnitřní homogenita odlitku splněna. Rentgenové snímky byly pořízeny pomoci zařízení od firmy Yxlon, které umožňuje rozlišení vad od velikosti 0,4 mm.

S původním dělicím prostředkem někdy docházelo k vyššímu zadírání jader a naletování hliníku na povrch, proto obsluha snížila koncentraci na 1:65 pro dosažení vyššího mazacího účinku separátoru obr. 51.

Obr. 51 Změna koncentrace na 1:65 původní dělící prostředek L-CA CP 798.

8 Výběr vhodného separátoru

Ve slévárnách tlakového lití hliníku je zpravidla používán jeden typ separátoru pro práce na všech licích strojích. Požadavky na takový separátor mohou být velice rozdílné a z hlediska sortimentu výroby slévárny musí splňovat celou řadu podmínek:

- lepší mazací účinek;
- aplikovatelnost při širším rozsahu teplot;
- vzhled a kvalita odlitků;
- antikorozní účinek;
- nižší spotřeba koncentrátu;
- zkrácení výrobních časů;
- mikrobiologická stabilita;
- netoxičnost;
- zápach;
- likvidace odpadů – ekologie;
- cena.

Pro optimální výběr je obtížné skloubit veškeré vlastnosti do jednoho produktu a vždy je potřeba dělat kompromisy. Proto je důležité již při konstrukci formy zvážit možnosti stroje, provedení ohřevu a chlazení ve formě v souladu se zvoleným mazacím prostředkem.

8.1 Odlévání odlitku při použití vysokoteplotního separátoru

Dle naměřených hodnot a vzniklých problémů při výrobě se stávajícím separačním prostředkem L-CA CP 798 byly navrženy požadavky pro volbu vhodného separátoru:

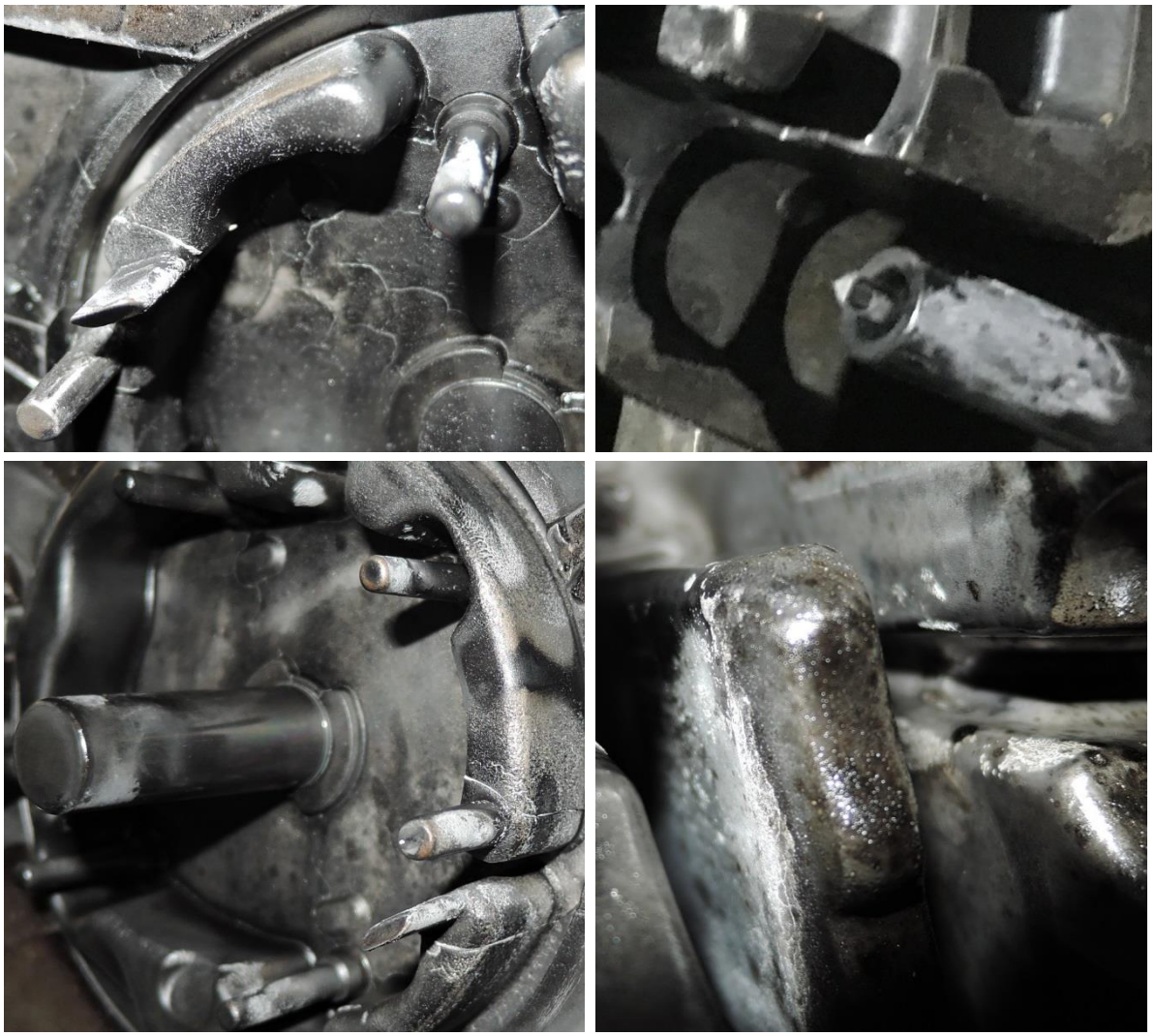
- snížení počtu neshodných kusů na základě kvality povrchu ovlivněný separátorem;
- optimalizace teplotního pole formy s cílem dosáhnout co nejmenšího teplotního šoku a co nejrovnoměrnějšího teplotního pole po ošetření;
- snížení problémů se zadíráním a naletováním hliníku na jádra;
- snížení času odlévané součásti;
- snížení nákladů spojených s ošetřením formy a spotřeby dělicího prostředku.

Dle těchto požadavků bylo navrženo vyzkoušet vysokoteplotní separátor od firmy Chem-Trend®. Jedná se o dělící prostředek s větším rozsahem pracovních teplot od 150 do 350°C, s výbornými mazacími vlastnostmi a zároveň zabraňující letování hliníku na povrch formy. Separátor je vhodné také pro vysoké poměry ředění 1:120 a víc.

Před zahájením odlévání s novým dělícím prostředkem bylo nutné provést následující práce na stroji a formě.

Na formě byla provedena údržba, týkající se vyčištění formy, zejména zanesených jader. Jádra na pevné polovině nebyly vyměněny, ale pouze přeleštěny. Na tvarových částech v pohyblivé polovině nebyly provedeny žádné úpravy, aby nedošlo k odstranění ochranného povlaku na povrchu. Tvarové části vykazují vysoký stupeň opotřebení viz obr. 52.

Během úprav na formě byl propláchnut celý okruh s rozvodem separátoru včetně postřikové hlavy a trysek. Nový zkoušený vzorek SL-60009 obsahuje mikrobiologický balík, který brání tvorbě kolonií bakterií ve směsi vodou naředěného separátoru. U běžných separátorů s obsahem vosku dochází ke snížení průchodnosti okruhu a tím i k horšímu ošetření formy. Po kompletním vyčištění byl zapojen nový separátor do okruhu.



Obr. 52 Vady na formě.

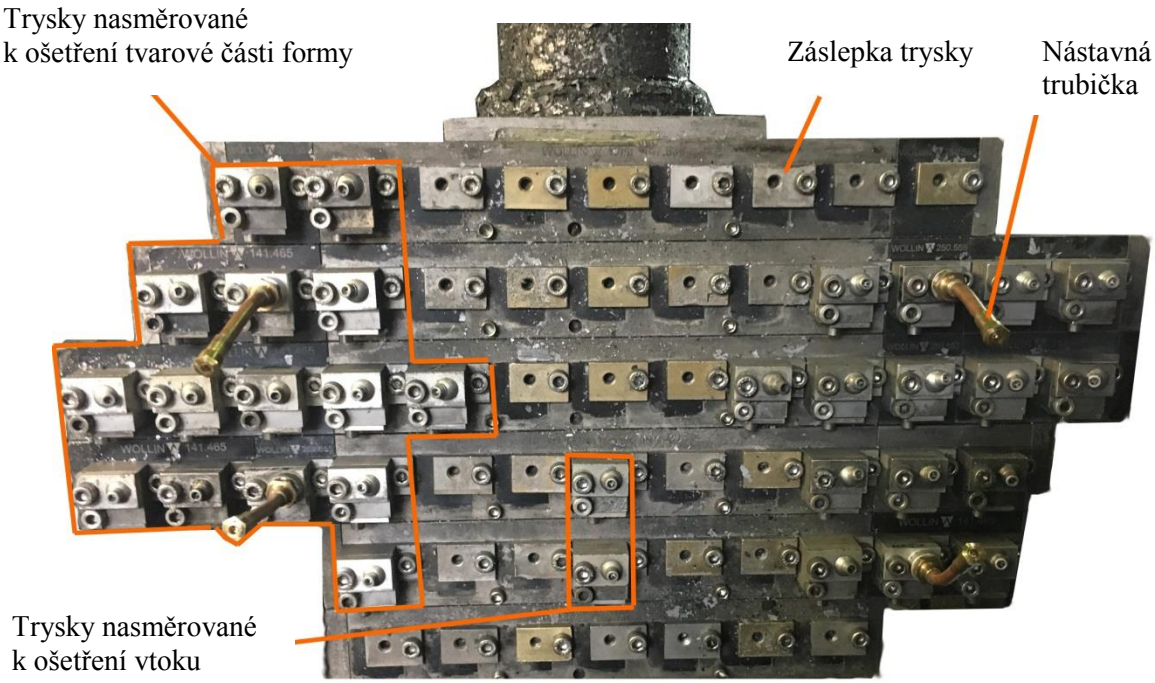
Podle pohybu robota s postřikovou hlavou byla pomocí laserového ukazovátka kontrolována jednotlivá místa dopadu a směry proudu kapaliny tak, aby bylo dosaženo co nejvíce vyrovnaného teplotního pole.

Na postřikové hlavě byly proto upraveny trysky směřující na jádra pevné poloviny tak, aby byla správně namazaná po celé délce a zároveň nedocházelo k nechtěnému přechlazení čel, ale byla rovnoměrně snížena teplota. Po obou stranách postřikové hlavy byly přidány čtyři stavitelné trysky obr. 53 a 54 v podobě ohebných měděných trubiček.

Na pevné polovině byly nasměrovány na středové jádro tak, aby se rovnoměrně ochladily a namazaly po celé ploše.

Na pohyblivé polovině byly trysky nastaveny tak, aby snížily teplotu v přehřáté tvarové dutině formy z obr. 46.

Po provedených technických úpravách byl ve zpomaleném módu spuštěn program postřiku. Doba postřiku byla zkrácena o 1 s.



Obr. 53 Upravená postřiková hlava.

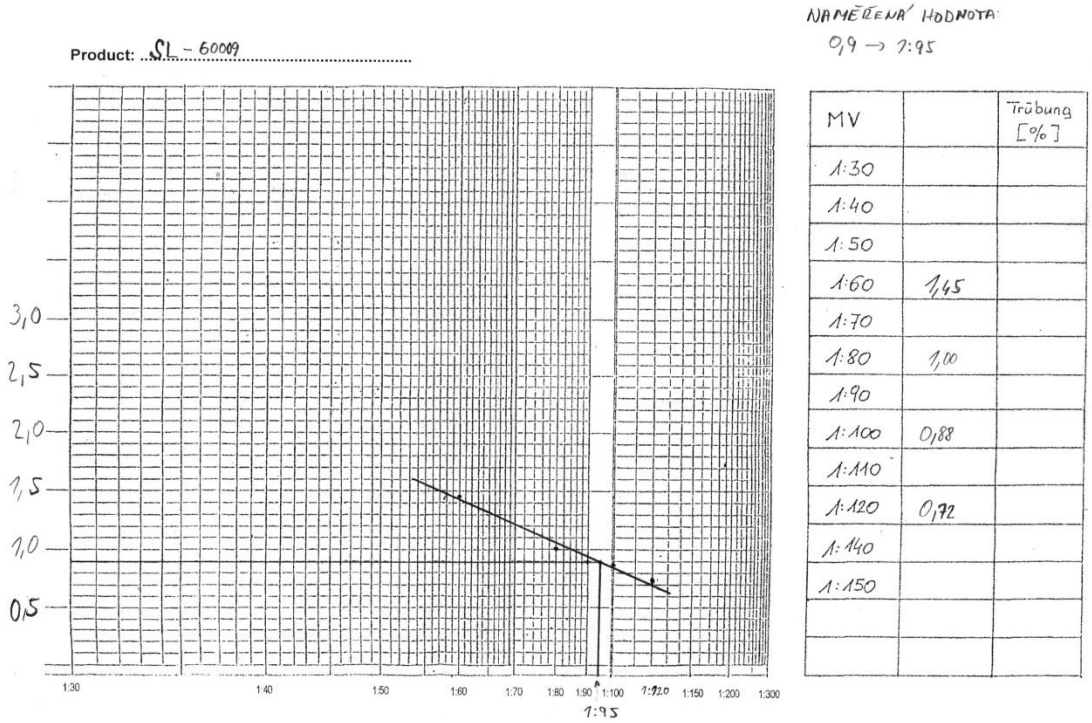
Obr. 54 Přidání nástavných trysek, směřující na jádra pevné poloviny.

Pro první odlévací cykly byl nastaven směšovací poměr 1:83, což odpovídá koncentraci 1,2 %. Prvních pět odlitků po odstavení stroje jsou automaticky robotem vyhodnoceny jako nevyhovující a vyhozeny. Další odlitky již prošly přes následné operace: kontrola celistvosti, zachlazovací vana, ostřih a přes dopravník k obsluze, která vizuálně odlitky vyhodnotila jako vyhovující. Odlitky byly podrobeny rentgenové zkoušce, kde dle obr. 55 nebyly zjištěny žádné vnitřní vady.

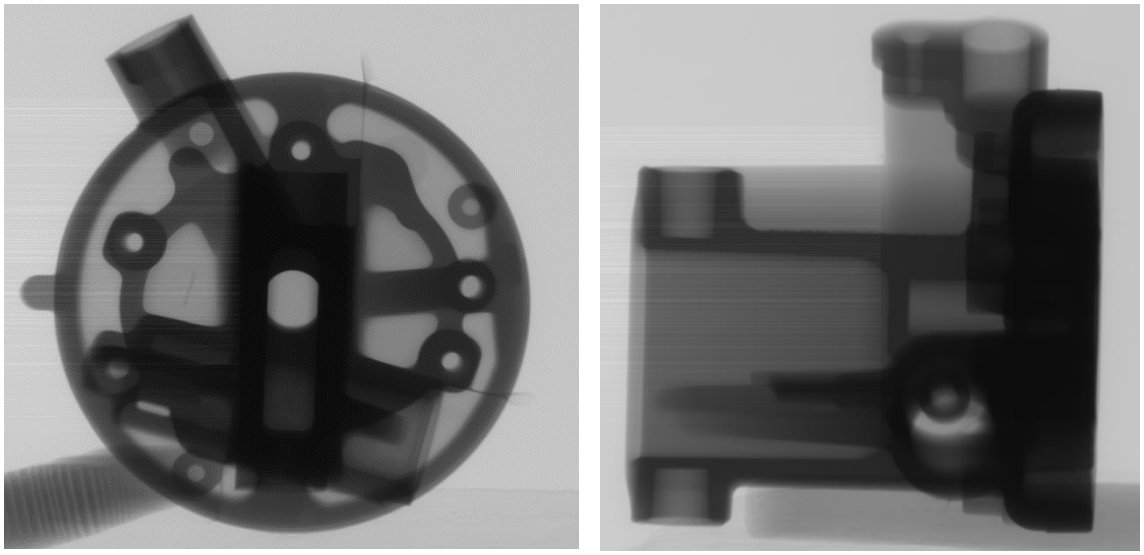
8.2 Kalibrační křivka dělícího prostředku SL-60009

Pro vyhodnocení reálné koncentrace separátoru v postřikovém okruhu je potřeba vytvořit novou koncentrační křivku daného produktu. Proto byly opět namíchány čtyři vzorky koncentrátu s vodou v poměrech 1:60, 1:80, 1:100, 1:120 a podle stejného postupu, jako u předchozího dělicího prostředku, byly zapsány naměřené hodnoty. Následně byla vytvořena kalibrační křivka a změřena koncentrace nového separátoru, jehož hodnota byla 0,9, což odpovídá poměru 1:95 z obr. 55.

Během průběhu celé zkoušky byl upravován směšovací poměr separátoru a byly sledovány různé změny na odlitcích a stavu formy. Směšovací poměr byl snižován i zvyšován a bylo vyhodnoceno, že zvolený poměr 1:95 vykazoval nejlepší výsledky.



Obr. 55 Kalibrační křivka zkoušeného separátoru SL-60009.



Obr. 56 Rentgenový snímek odlitku.

8.3 Čas výrobního cyklu

Původní předepsaný technologický čas 54,5 s se povedlo nastavením postřikové hlavy a použitím nového separátoru snížit na dobu jednoho cyklu 53,6 s obr. 56.

Výkonnostně by se daly ušetřit další sekundy, ale již cca po 15 cyklech docházelo k opětnému přehřívání formy v okolí vtokového kanálu a prostříkávání kovu dělicí rovinou.

Udržitelnost vyššího licího tempa by vyžadovala zapojení středového chladicího okruhu formy označeného číslem 3–4 na obr. 33, který nebyl v současné době zapojen.

datum/as	Σ Cyc tot	Qual	l B [mm]	t Cyc [s]	p IM R0 [bar]	v CF [m/s]
2017-3-10 13:59:21	77709	OK	25	53,7	917	3,42
2017-3-10 13:58:28	77708	OK	24	53,7	918	3,45
2017-3-10 13:57:34	77707	OK	24	53,7	917	3,44
2017-3-10 13:56:40	77706	OK	23	53,9	917	3,40
2017-3-10 13:55:46	77705	OK	24	53,8	916	3,45
2017-3-10 13:54:53	77704	OK	23	53,6	917	3,44
2017-3-10 13:53:59	77703	OK	23	53,7	918	3,43
2017-3-10 13:53:05	77702	OK	22	53,7	917	3,38
2017-3-10 13:52:11	77701	OK	22	53,7	917	3,43
2017-3-10 13:51:18	77700	OK	24	53,7	918	3,47
2017-3-10 13:50:24	77699	OK	23	53,8	917	3,44
2017-3-10 13:49:30	77698	OK	24	53,7	916	3,46
2017-3-10 13:48:37	77697	OK	24	53,8	917	3,44
2017-3-10 13:47:43	77696	OK	24	53,7	918	3,44
2017-3-10 13:46:49	77695	OK	22	53,7	917	3,44
2017-3-10 13:45:55	77694	OK	23	53,7	916	3,46
2017-3-10 13:45:02	77693	OK	22	53,7	916	3,46
2017-3-10 13:44:08	77692	OK	23	53,7	917	3,46
2017-3-10 13:43:14	77691	OK	22	53,7	917	3,46
2017-3-10 13:42:21	77690	OK	22	53,6	918	3,45

Obr. 57 Tabulka s přehledem důležitých výrobních parametrů zejména čas cyklu.

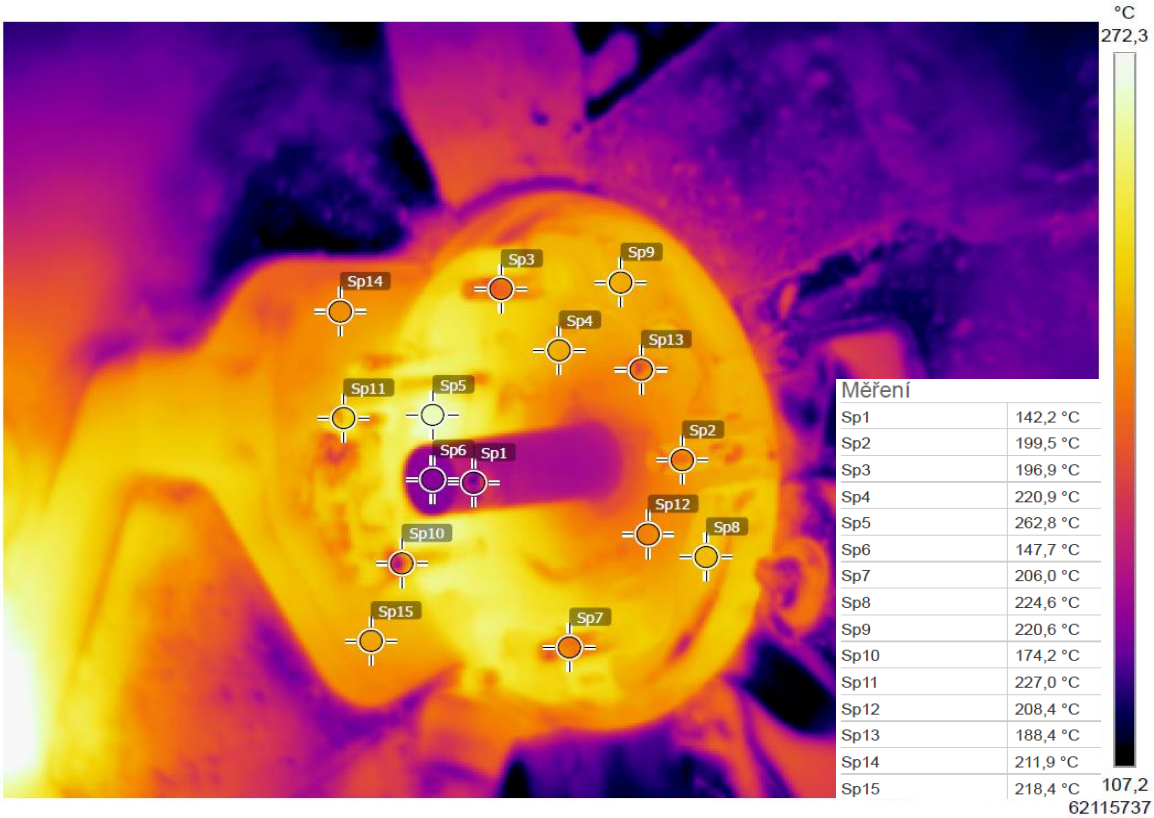
8.4 Měření tepelného pole formy před aplikací separátoru SL-60009

Pro posouzení tepelného pole formy byly pořízeny termo fotografie odpovídající stejným místům původního měření.

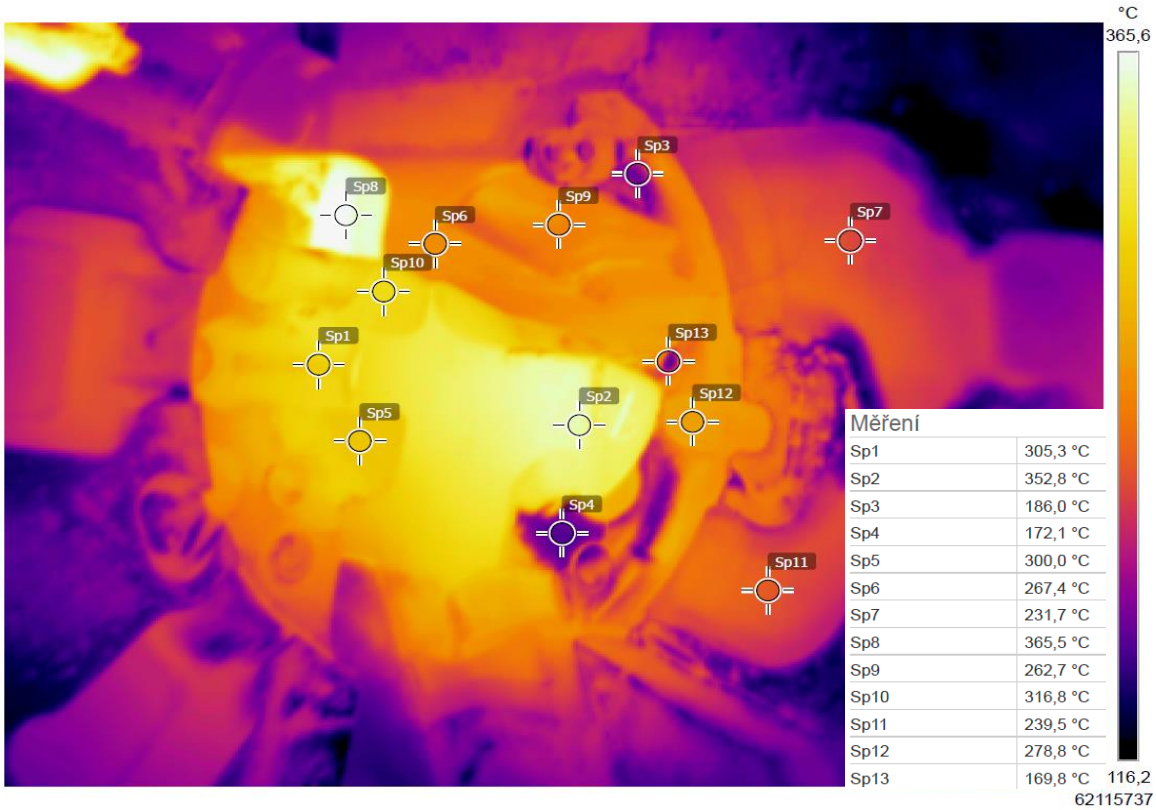
Na obr. 58 je zobrazen termo snímek tvarové části pevné poloviny po hodinovém provozu. Je patrné, že rozložení teplot ve formě je více vyrovnané a mezi jednotlivými tvary nejsou velké rozdíly. Teplota povrchu tvarových částí a jader se pohybuje okolo 215 °C. Z hlediska aplikace vysokoteplotního separátoru forma pracuje v mírně podprůměrném teplotním režimu.

Body označené Sp1 a Sp10, které jsou na snímku zobrazeny tmavší barvou, odpovídají místům, kde stále zůstává naletovaný hliník, který nebyl při údržbě dokonale odstraněn.

Na obr. 59 je detail tvarové části pohyblivé poloviny. Je zde patrno, že oproti předcházejícímu měření se teploty pohybují také výše. Místa označená body Sp2 a Sp8 se blíží k horní hranici aplikovatelnosti dělicího prostředku SL-60009. Pohyblivá polovina pracuje ve vyrovnaném stavu. Tmavší body označené Sp3, Sp4, Sp12 odpovídají znečištění povrchu a vadám formy.



Obr. 58 Termo snímek pevné poloviny s detailním záběrem na tvarové části před postřikem dělicím prostředkem SL-60009.

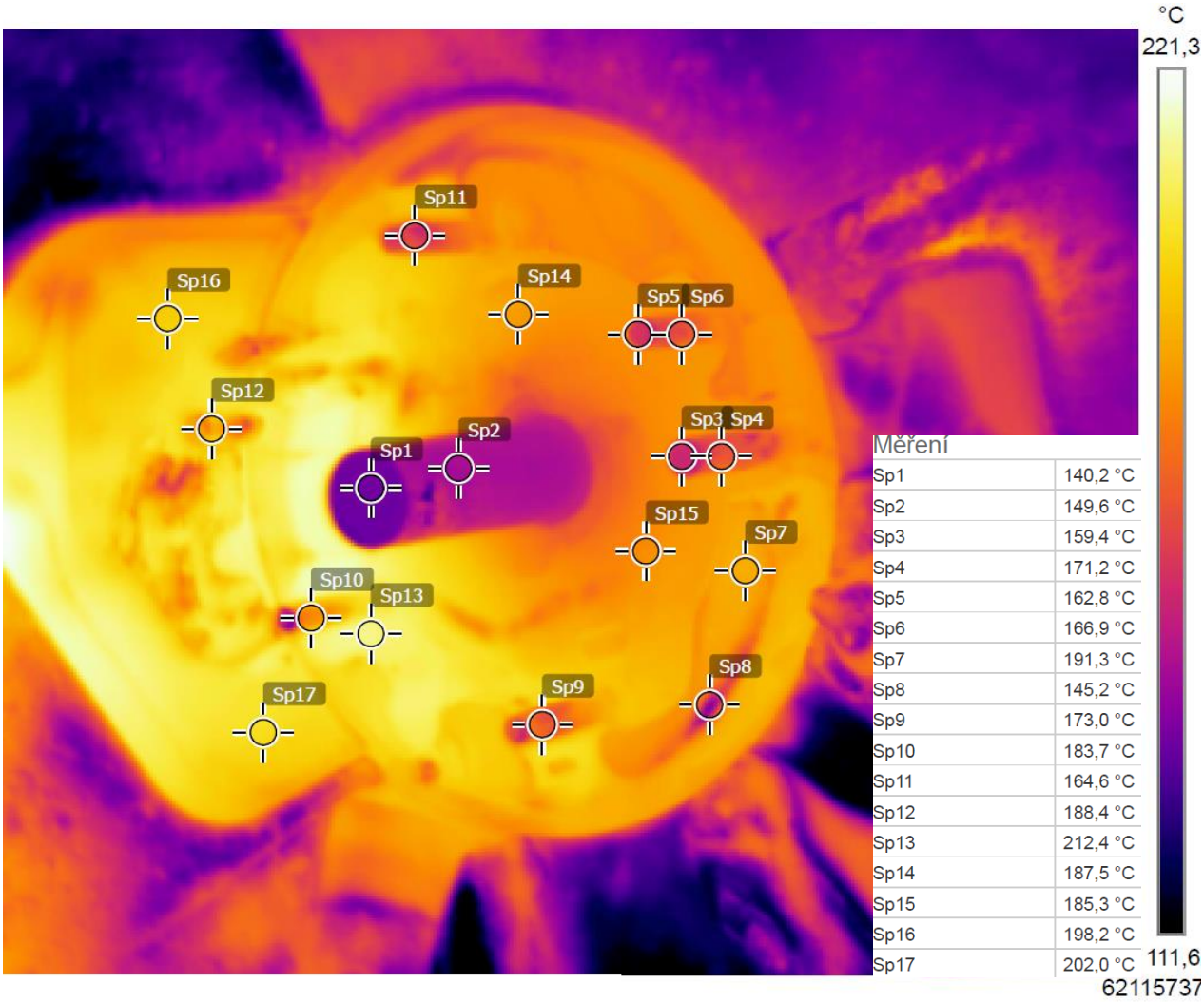


Obr. 59 Termo snímek pevné poloviny s detailním záběrem na tvarové části před postřikem dělicím prostředkem SL-60009.

8.5 Měření tepelného pole formy po aplikaci separátoru SL-60009

Na obr. 59 je termo snímek pevné poloviny s detailním záběrem na tvarovou část po nanesení separátoru postřikovou hlavou. Z obrázku je patrné, že teplotní pole se více vyrovnalo a průměrné rozdíly se pohybují v rozmezí 30 °C. Úpravou směrů jednotlivých trysek a zkrácením postřikového času se zabránilo vytváření přechlazených míst. Rovnoměrnou aplikací mazadla po celé délce jader byl odstraněn problém se zadíráním a naletováním hliníku na jádrech. Středové jádro je záměrně ponecháno mírně chladnější oproti zbytku dutiny z důvodu zamezení vzniku teplotního uzlu při tuhnutí odlitku.

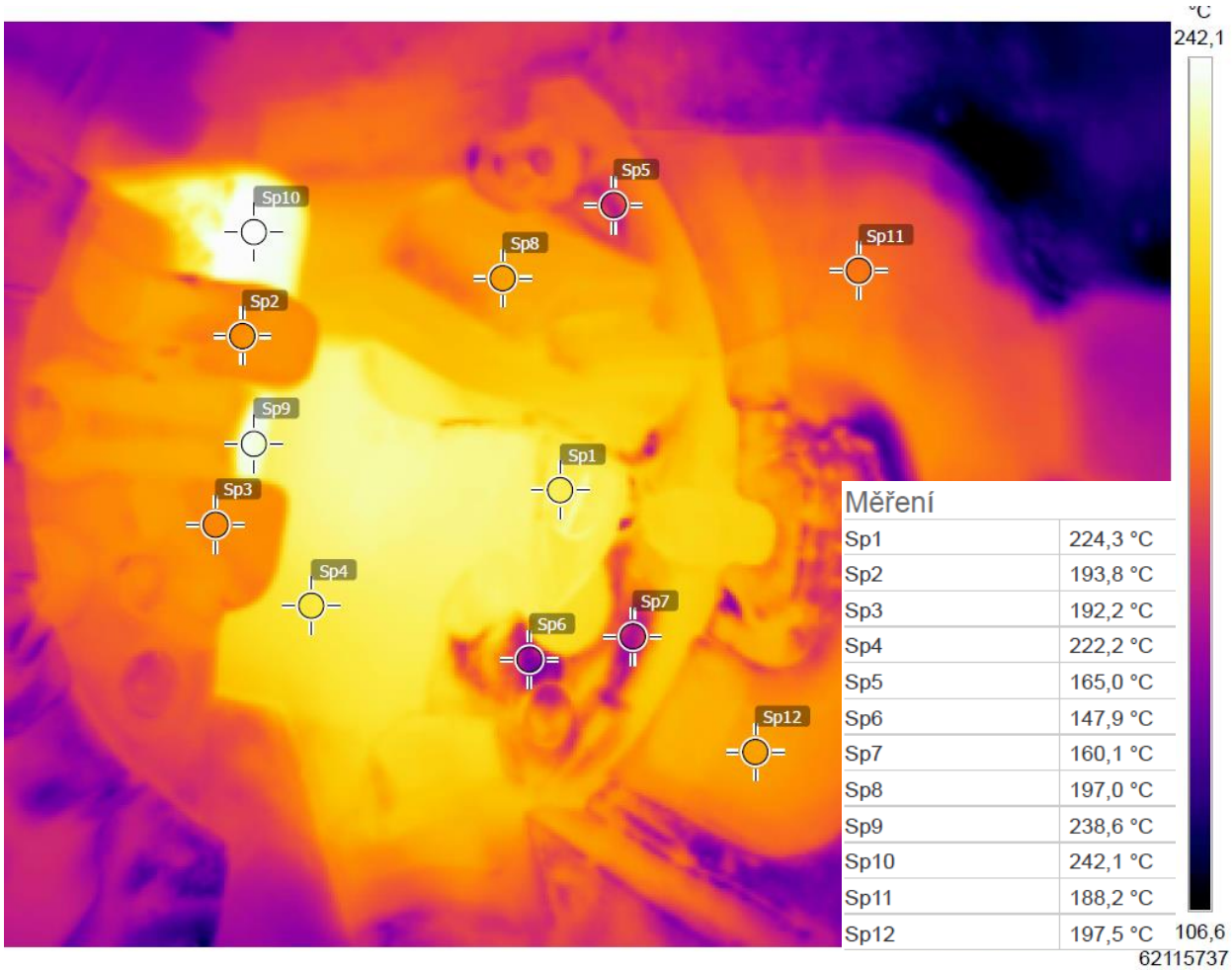
Forma je zahřátá a pracuje při optimální teplotě pro aplikaci dělicího prostředku a vytvoření potřebného mazacího filmu na povrchu. Odstraněním přechlazených míst a zvýšením celkové teploty formy se snížil teplotní rozdíl mezi taveninou při zalisování a povrchem dutiny formy. Tím se snížilo i tepelné namáhání formy.



Obr. 60 Termo snímek pevné poloviny s detailním záběrem na tvarové části po postřiku dělicím prostředkem SL-60009.

Na obr. 61 je zobrazen termo snímek detailu tvarové části pohyblivé poloviny. Je zřejmé, že pohyblivá polovina pracuje ve vyšším teplotním režimu než pevná. Teplotní pole se příznivě srovnalo kromě dvou oblastí. V místě hlubokého vybrání v bodech Sp9 a Sp10 se snížila teplota z 365 °C na 240 °C, která je vyšší oproti zbytku tvarové části a bylo by vhodné použít chlazení zaměřené přímo do těchto míst. V dutině formy se stále vyskytují chladná místa označená body Sp5, Sp6 a Sp7, kde by bylo vhodné snížit proud postřiku.

Pohyblivá polovina pracující v tomto teplotním rozsahu plně vyhovuje parametrům separačního prostředku SL-60009. Odlitky nevykazují povrchové ani vnitřní vady, které by neodpovídaly předepsané jakosti.



Obr. 61 Termo snímek pohyblivé poloviny s detailním záběrem na tvarové části po postřiku dělicím prostředkem SL-60009.

9 Porovnání zkoušených dělicích prostředků

9.1 Neshodné odlitky při výrobě

Na základně vyhodnocení kontroly kvality jsou v tabulce č. 16. rozepsané jednotlivé vady za celou dobu výroby. Pro diplomovou práci byly vybrány vady, které ovlivňuje dělící prostředek. Tyto vybrané vady tvoří dohromady 4,35% neshodných kusů. Nejsou to vady zaviněné pouze nevhodným postřikem, ale bývají častou příčinou.

- Z tabulky je patrné, že nejvíce neshodných kusů je vyřazených na základě položky označené, jako „Rozjezdové kusy“. Kusy jsou vyřazeny z důvodu pozastavení stroje, ke kterému docházelo při zadírání odlitků ve formě. Stroj musel být odstaven, odlitek ručně vyjmut a opět spuštěn. Dle délky odstávky stroje, byl automaticky přednastaven počet vyřazených kusů z důvodu najetí formy na provozní teploty.
- Další vada „Nárůsty“ je způsobena letováním hliníku na části formy, které mění předepsaný tvar odlitku.
- Odlitky „Vyřazeno robotem“ jsou vyřazeny při kontrole celistvosti pomocí senzorů.
- Vady označené „Zoxidované a znečištěné“ jsou ovlivněny použitým separátorem.

Tabulka 4. Jednotlivé klasifikování vad a jejich počet po celou dobu výroby.

Vada	Název vady	Zmetků	
00	Vadný počet	179	0,05%
11	Nedolití, studené spoje	113	0,03%
13	Trhliny	12	0,00%
16	Potlučené,mech. poškození	6 465	1,78%
17	Porezita	225	0,06%
19	Zahraněné	328	0,09%
22	Nedodržený rozměr	1 650	0,46%
27	Loupání (zálupy)	4	0,00%
28	Deformace, prohnuté	1 003	0,28%
32	Nedodržené stopy po vyhazovačích	472	0,13%
33	Nárůsty	1 766	0,49%
34	Zoxidované, znečištěné	267	0,07%
92	Vyřazeno robotem	1 564	0,43%
93	Nedojetý cyklus	26	0,01%
97	Vady slévárny po extra kontrole	456	0,13%
R0	Rozjezdový kus	12 193	3,36%
S0	Slévárenská vada na CNC obrábění	136	0,04%
S1	Porezita na CNC obrábění	216	0,06%
T0	????Technologická vada	257	0,07%
Celkem		27 332	
Celkem vyrobených odlitků		362458	7,54%

V tabulce č. 17. jsou uvedené počty neshodných kusů, týkající se pouze vad spojenými se zkouškou dělícího prostředku SL-60009. Zaznamenána data jsou pořízena během čtyř dnů zkoušek. Z tabulky je patrné, že se povedlo ve všech skupinách snížit počet neshodných odlitků. Největšího snížení se dosáhlo u rozjezdových kusů a to díky menšímu naletování hliníku na jádra, s tím spojené zadírání jader a snížení počtu odstávek stroje.

Celkově se po dobu zkoušky povedlo snížit počet neshodných kusů vyřazených na základě vybraných kritérií o 2,6 %. Pro přesnější porovnání vlivu mazadla na vyřazený počet neshodných kusů by bylo potřeba provést po delší době.

Tabulka 5. Vybrané vady ovlivněné mazadlem a jejich počet po dobu zkoušky.

Celkový počet vyrobených odlitků					**7946 ks**
Dny lití	**Nárůsty**	**Rozjezdový kus**	**Vyřazeno robotem**	**Zoxidované, znečištěné**	**Celkový součet**
1.	10	24	11		45
2.	8	21	5	2	36
3.	7	12	7		26
4.	5	19	8		32
Celkový součet	30	76	31	2	139
Procentuální vyjádření	0,38%	0,96%	0,39%	0,03%	1,75%

9.2 Separační schopnosti

Nejdůležitějším faktorem při srovnání separátorů bylo snížení počtů vyřazených odlitků na základě špatných oddělovacích schopností projevujících se naletováním hliníku na tvarové části formy a zadíráním jader. Kritéria hodnocení jsou následující:

1. Bez sebemenších problémů – nedochází k zadírání
2. Minimální problémy se zadíráním
3. Větší problémy se zadíráním
4. Špatné mazací vlastnosti – silné zadírání
5. Mazadlo neodděluje – úplné zadírání tvarové vložky

Tabulka 6. Separačních schopnosti.

Separační schopnost - váha 30%					
Hodnocení 1 - velmi dobrý; 5 - velmi špatný					
MAZADLO	poměr 1:60	poměr 1:80	poměr 1:100	**Součet zn.**	**POČET BODŮ**
L-CA CP 798	1	3	3	**7**	**21,4**
SL-60009	1	2	2	**5**	**42,0**

9.3 Aplikační teplotní rozsah separátoru

Teplotní rozdíly v jednotlivých částech formy kladou značné nároky na rovnoměrnou aplikovatelnost separátoru po celém povrchu formy. Kritéria hodnocení jsou následující:

1. Výborný
2. Při vyšších teplotách menší problém s nanesením filmu na tvarové části
3. Při vyšších teplotách větší problém s nanesením filmu na tvarové části
4. Velice nízký teplotní rozsah
5. Minimální teplotní rozsah

Tabulka 7. Aplikační teplotní rozsah pro koncentraci 1:80.

Aplikační teplotní rozsah pro koncentraci 1:80 - váha 30%					
Hodnocení 1 - velmi dobrý; 5 - velmi špatný					
MAZADLO	150°C	250°C	350°C	Součet zn.	POČET BODŮ
L-CA CP 798	2	2	4	8	18,8
SL-60009	2	1	2	5	48,0

9.4 Vzhled odlévaného povrchu

Vzhledové vady na odlitcích ve spojení s dělicím prostředkem představují zejména mapy po separátoru, který se usazuje na povrchu formy a přenáší se na odlitek. Zákazníkem nebyla předepsána kritéria hodnocení vzhledu odlitku, jelikož se jedná o skrytý díl. Ze zkušeností firmy Kovolit Modřice a.s. bývá při přejímce vzhled odlitku důležitým parametrem. Kritéria hodnocení jsou následující:

1. Výborný
2. Menší stopy po zbytcích dělícího prostředku
3. Větší stopy po zbytcích dělícího prostředku
4. Výrazné stopy po zbytcích dělícího prostředku
5. Nevyhovující povrch

Tabulka 8. Vzhled odlévaného povrchu.

Odlévaný povrch - váha 20%					
Hodnocení 1 - velmi dobrý; 5 - velmi špatný					
MAZADLO	poměr 1:60	poměr 1:80	poměr 1:100	Součet zn.	POČET BODŮ
L-CA CP 798	1	2	2	5	16,0
SL-60009	1	1	2	4	25,0

9.5 Cena koncentrátu

Jedním častým hlavním kritériem bývá samotná cena za litr koncentrátu separačního prostředku. V tabulce je uvedena orientační cena obou testovaných mazadel. Ceny jednotlivých separátorů podléhají smlouvám mezi slévárnou a dodavatelem, a z toho důvodu jsou uvedeny v tabulce shodné. Pro naše vyhodnocení zkoušky rozdílná cena nebyla rozhodujícím faktorem, ale svoji váhu při výběru vždy má.

Tabulka 9. Cena koncentrátu.

Cena koncentrátu - váha 15%					
MAZADLO	cena [EUR]	poměr 1:60	poměr 1:80	poměr 1:100	POČET BODŮ
L-CA CP 798	2,10	0,04	0,03	0,02	15,0
SL-60009	2,10	0,04	0,03	0,02	15,0

9.6 Intenzita zápachu

Intenzita zápachu je pro výrobní proces důležitá z hlediska pracovního prostředí a hygienických norem.

1. Bez zápachu
2. Mírný zápach
3. Výrazný zápach
4. Dráždí sliznici a oči
5. Nevyhovující pro sériovou výrobu

Tabulka 10. Intenzita zápachu.

Intenzita zápachu - váha 5%					
Hodnocení 1 - velmi dobrý; 5 - velmi špatný					
MAZADLO	poměr 1:60	poměr 1:80	poměr 1:100	Součet zn.	POČET BODŮ
L-CA CP 798	1	1	1	3	5
SL-60009	1	1	1	3	5

9.7 Vyhodnocení separátoru

V tabulce jsou shrnuty jednotlivé důležité vlastnosti hodnocených separátorů. V předposledním sloupci jsou sečteny výsledné body. Ve všech vlastnostech byl zvolený separátor SL 60009 vyhodnocen jako nejvíce vhodný, a to v poměru 1:80.

Tabulka 11. Vyhodnocení separátoru.

		váha 30%	váha 30%	váha 20%	váha 5%	váha 15%	VYHODNOCENÍ	
MAZADLO	ředění	separační schopnost	aplikační teplotní rozsah	odlévaný povrch	intenzita zápachu	cena koncentrátu [Kč/l]	Celkový počet bodů	POŘADÍ
L-CA CP 798	1/60	1	2	1	1	55	59,4	2.
	1/80	3	2	2	1	55		
	1/100	3	4	2	1	55		
SL-60009	1/60	1	2	1	1	55	88,0	1.
	1/80	2	1	1	1	55		
	1/100	2	2	2	1	55		

10 Úspory

Výpočet úspor zkoušeného odlitku byl stanoven na základě plánu výroby pro rok 2018 v množství 212 000 kusů. Hodnoty uvedené ve žlutě označených polích tabulky byly převzaty ze slévárny. Ceny jsou uvedeny v eurech, z důvodu nákupu surovin a prodeje odlitků v této měně.

V první části tabulky byla vypočítána úspora potřebného separačního prostředku v závislosti na snížení poměru z 1:75 na 1:95. Pro rok 2018 by předpokládaná úspora měla činit 450 kg a slévárně ušetřit 928 EUR.

Největší úspory by mělo být dosaženo zkrácením výrobního cyklu o jednu sekundu. Při plánované výrobě 212 000 kusů předpokládáme úsporu 59 hodin, což představuje 7 740 EUR na daném projektu.

V závěrečné části tabulky je přepočtena úspora energie v závislosti na počtu ušetřených hodin, která činní 536 EUR.

Celková úspora za nákup separačního prostředku, zkrácení pracovní doby a ušetřenou energii provozu stroje představuje pro plánovanou výrobu v roce 2018 částku 9 203 EUR.

V celkově uspořených financích nejsou zohledněny ztráty, které v současné době vznikají vlivem odstávek stroje z důvodu údržby formy, vyřazením neshodných odlitků a předpokládané vyšší životnosti formy.

Tabulka 12. Úspory.

	Aktuální údaje	Optimalizace
Separátor:	**L-CA CP 798**	**SL-60009**
Aktuální Spotřeba (kg)	2 100 Kg	1 658 Kg
Koncentrace	1:75	1:95
Cena separátoru	2,1 EUR/Kg	2,1 EUR/Kg
Cena dopravy	- €	- €
Náklady na separátor	4 410,00 €	3 481,58 €
Úspora při nákupu separátoru		**928,42 €**

	Aktuální údaje	Optimalizace
Kusů/rok	212 000 kusů	212 000 kusů
Normominuty	0,91 Nmin/ks	0,89 Nmin/ks
Min.faktor	1,15 €	1,15 €
Nadtarif střediska	1,04 €	1,04 €
EUR/min	2,19 €	2,19 €
Nmin celkem	192920 Nmin	189386 Nmin
Celkem	422 494,80 €	414 755,25 €
Úspora normominut		**3534 Nmin**
Úspora hodin		**59 hod**
Výrobní úspory		**7 739,55 €**

Energie		
Spotřeba energie		65 kW/hod
Cena za energie		0,14 EUR/kW
Čas		59 hod
Úspora energií		**536,00 €**

Celkové úspor		**9 203,96 €**

11 Závěr

Zkouška vysokoteplotního separátoru SL-60009 probíhala po dobu pěti dní ve třísměnném provozu. Během té doby bylo odlito 12 064 kusů, které plně vyhovovaly všem předepsaným standardům. Dle pracovníků údržby a pozorováním při výrobě na jádrech přestával ulpívat hliník a v mnohem menší míře docházelo k zadírání jader. Lepším mazacím účinkem se dosáhlo nejen o vteřinu kratšího výrobního cyklu, ale také menšího počtu zásahů při opravě formy. Při použití původního separátoru probíhala údržba formy jedenkrát za směnu. U zkoušeného separátoru SL-60009 byla nutná údržba formy až po čtyřech odpracovaných směnách. Snížením zadírání odlitků ve formě a prodloužením intervalu mezi odstávkami se zvýšila výrobní produktivita a snížil počet vyřazených kusů při opětném spuštění stroje, které představuje nejvyšší procento neshodných kusů.

Jak již bylo popsáno u termo snímků, použitím separátoru SL-60009 bylo možné pracovat při vyšších teplotách. Dosáhlo se vyrovnanějšího teplotního pole v dutině formy, což by se mělo příznivě projevit na tepelném namáhání a životnosti formy. Při této krátkodobé zkoušce nebylo možné vyhodnotit vliv zkoušeného separátoru na délce životnosti formy.

Použitím zkoušeného separátoru a optimalizací postřiku byl snížen výrobní cyklus o další 2 sekundy. Zrychlení cyklu se nepříznivě projevilo již po několika zalisování přehřátím formy. Toto přehřátí bylo způsobeno nefunkčním chladícím okruhem v blízkosti vtokového kanálu a docházelo k prostříknutí taveniny dělící rovinou. Z toho důvodu byl cyklus zkrácen pouze o 1 sekundu. Na základě takto stanoveného pracovního cyklu a sledování kvality odlitků byl proveden výpočet úspor:

- spotřeba dělícího prostředku;
- snížení výrobního času;
- snížení počtu neshodných odlitků;
- úspora elektrické energie.

Dělicí prostředek byl zkoušen na formě, která je před koncem své životnosti a vykazovala celou řadu poškozených a opotřebených míst. Při výrobě nové formy by bylo vhodné se zaměřit na účinnost chlazení a to zejména tvarových částí a vtoku. Jak je patrné z termo snímků k největšímu přehřátí dochází na pohyblivé polovině formy v oblasti hlubokého vybrání s jádrem uprostřed. Chladící okruh je veden po obvodu odlitku a středové vybrání nebylo možno dostatečně schladit ani pomocí postřiku. Jelikož se jedná o tenké jádro, bylo by vhodné zde použít místní chlazení pomocí technologie Jet-cooling.

Stále zvyšujícími se nároky na kvalitu a efektivnost výroby odlitků je potřeba věnovat velkou pozornost teplotním režimům ve formě. Cesta k vyrovnanému teplotnímu režimu je založena na dokonalé přípravě ohřevu a chlazení formy. Zvládnutí technologie výroby odlitků s použitím vysokoteplotního separátoru je mezistupeň ke zkoušení tzv. mikropostřiku, které umožňuje dokonalé namazání formy a maximální zkrácení výrobního času. Slévárny, které tuto technologie nebudou schopné zvládnout, budou mít stále větší problémy s konkurenceschopností.

12 Seznam použitých zdrojů

1. VINARCIK, Edward J. *High integrity die casting processes*. New York: John Wiley, 2003, 223 s. ISBN 04-712-0131-6.
2. ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie neželezných slitin*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 148 s. ISBN 8021427906.
3. *Encyklopedie hliníku*. Děčín: Alcan Děčín Extrusions, 2005. ISBN 80-89041-88-4.
4. HORÁČEK, Milan. Vysokotlaké lití [prezentace]. [cit. 2017-01-24].
5. ITALPRESSE. Školení vysokotlakých strojů. Brescia, 2010. 125 s.
6. MICHNA, Štefan [online]. Progresivní technologie odlévání [cit. 2010-05-12]. http://www.stefanmichna.com/prograsivni_technologie/progresivni_technologie_odlevani.pdf
7. LAUKLI, Hans Ivar. High Pressure Die Casting of Aluminium and Magnesium Alloys - Grain Structure and Segregation Characteristics [online]. Trondheim, 2004 [cit. 2017-04-02]. ISBN 82-471-6323-3. Dostupné z: http://ntnu.divaportal.org/smash/get/diva2:125090/FULLTEXT01.pdf. PhD.Thesis.Norwegian University of Science and Technology.
8. ANDREONI, Luigi, CASE Mario a POMESANO Giorgio. Thepressurediecastingprocess. Firstedition. Brescia (Italy): EDIMET, 1996, 116 s. ISBN88-86259-13-1.
9. NĚMEC, Milan, Bohumír BEDNÁŘ a Barbora BRYKSÍ STUNOVÁ. *Teorie slévání*. Praha: České vysoké učení technické, 2009, 217 s. ISBN 978-80-01-04395-0.
10. ANDRESEN, Bill. *Die casting engineering: a hydraulic, thermal, and mechanical process*. New York: Marcel Dekker, c2005. ISBN 0-8247-5935-4.
11. VALECKÝ, Jindřich, Ladislav JENÍČEK, Václav OLIVERIUS, Josef ŠEBL aStanislav VODIČKA. *Lití kovů pod tlakem*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1963.
12. ŠUSTR, Jindřich. Formy pro tlakové lití. *Slévárenství*. Brno: Svaz sléváren ČR, 2005, roč. 53, č. 2-3, s. 90-91.
13. *Uddeholm* [online]. Sweden, 2016 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: http://www.uddeholm.com/files/AB_die_casting_eng.pdf
14. KRŇÁVEK, Václav a František STŘÍTECKÝ. Konstrukce forem pro odlitky lité pod tlakem a její vliv na výskyt vad. *Slévárenství*. Brno: Svaz sléváren ČR, 2007, roč. 55, č. 2-3, s. 81-86.
15. MUHIČ, M., J. TUŠEK, D. KLOBČAR a M. PLETERSKI. Thermal fatigue cracking of die-casting dies. *Metalurgija* [online]. 2010, 1(49), 4 [cit. 2017-03-12]. ISSN ISSN 0543-5846. Dostupné z: http://www.hrcak.srce.hr/file/63080
16. SCHWAM, David Schwam. *Improved Die Casting Process to Preserve the Life of the Inserts* [online]. Cleveland, OH 44106, 2012 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: http://www.e-smarrt.org/finalreports/task3_4_improveddiecastingprocess.pdf.
17. NOVÁ, Iva. *Přenos tepla ve slévárenských formách*. V Liberci: Technická univerzita, 2014. ISBN 978-80-7494-141-2.
18. REMEŠ, Jakub. *Problematika teplotního režimu forem a využití zbytkového tepla v technologiích lití pod tlakem*. Praha, 2007. České Vysoké Učení Technické v Praze. Vedoucí práce Aleš Herman,.
19. Thermobiehl Apparatebau GmbH. Topná a chladící zařízení. Gladbeck; 6 s.

20. FRANZ, Peter. *Termoregulace nástrojů pro tlakové lití a tenkých jader, cesta k provozním úsporám*. Německo, 2014.
21. LEVACHER, Guilaume. Lethiguel. Jet-cooling, 22s.
22. ENGELHORN, Günter. Automatizovaný postřik forem. *Slévárenství*. Brno:Svaz sléváren ČR, 2008, roč. 56, č. 3-4, s. 147-148.
23. GRAFF, James a Lothar KALLIEN. *The Effect of Die Lubricant Spray on the Thermal Balance of Dies* [online]. Cleveland,USA, 1993, , 26 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: http://dev.chemtrend.com/sites/default/files/brochures/the_effect_of_die_lubricant_spray_on_the_thermal_balance_of_dies_en_v1.pdf
24. NATESH, G. *Aluminium die casting: lubrication technology and trends* [online]. , 6[cit. 2017-04-04]. Dostupné z: http://www.chemtrend.com/resources/technical_articles_papers/aluminium_die_casting_lubrication_technology_and_trends
25. RAMPI, Giovanni. Release agents for die casting: general aspects and state od the art. *Edimet* [online]. 2005, , 9 [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: http://www.jodovit.com/doc/HTDC%20English%20.pdf
26. GÜNTER, Engelhorn. WOLLING GmbH. Školení postřiku, 2008, 35s.
27. DOKOUPIL, V. Chemické složení vyráběných slitin – Kovolit. Modřice. 2013, 4s. Interní dokument firmy Kovolit, a.s.
28. OKAYASU, Mitsuhiro, Yuta MIYAMOTO a Kazuma MORINAKA. Material Properties of Various Cast Aluminum Alloys Made Using a Heated Mold Continuous Casting Technique with and without Ultrasonic Vibration. *Metals* [online]. Japan, 2015, (5), 14 [cit. 2017-04-10]. ISSN ISSN 2075-4701. Dostupné z: http://www.mdpi.com/2075-4701/5/3/1440
29. Promet Metals testing laboratory. *Promet* [online]. Hong Kong [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: http://www.prometlab.com/en/tech.asp

Seznam obrázků

Obr. 39 a), b) pohled na odlitek, c),d) otlačená hrana, e), f) namačkaná hrana z ostřihu, g)nalepený dělící prostředek, h) nalepený materiál, i) ulomené jádro, j) zadřené jádro, k) vypadlý tvar.

Obr. 40 Znázorněné kritické oblasti, při kontrole rentgenem.

Obr. 41 Původní nastavení směšovacího poměru 1:75.

Obr. 42 Kalibrační křivka původního separátoru L-CA CP 798.

Obr. 43 Termo snímek pevné poloviny před postřikem. Dělicí prostředek L-CA CP 798.

Obr. 44 Termo snímek pevné poloviny s detailním záběrem na tvarové části před postřikem. Dělicí prostředek L-CA CP 798.

Obr. 45 Termo snímek pohyblivé polociny před postřikem s dělicím prostředkem L-CA CP 798.

Obr. 46 Termo snímek pohyblivé poloviny před postřikem s dělicím prostředkem L-CA CP 798.

Obr. 47 Termo snímek pevné poloviny po postřiku s dělicím prostředkem L-CA CP 798.

Obr. 48 Termo snímek pevné poloviny s detailním záběrem na tvarové části. Dělicí prostředek L-CA CP 798.

Obr. 49 Termo snímek pohyblivé poloviny detailní záběr na tvarové části po postřiku. Dělicí prostředek L-CA CP 798.

Obr. 50 Rentgenové snímky odlitku, odebraný během prvního dne zkoušení.

Obr. 51 Změna koncentrace na 1:65 původní dělící prostředek L-CA CP 798.

Obr. 52 Vady na formě.

Obr. 53 Upravená postřiková hlava.

Obr. 54 Přidání nástavných trysek, směřující na jádra pevné poloviny.

Obr. 55 Kalibrační křivka zkoušeného separátoru SL-60009.

Obr. 56 Rentgenový snímek odlitku.

Obr. 57 Tabulka s přehledem důležitých výrobních parametrů zejména čas cyklu.

Obr. 58 Termo snímek pevné poloviny s detailním záběrem na tvarové části před postřikem dělicím prostředkem SL-60009.

Obr. 59 Termo snímek pevné poloviny s detailním záběrem na tvarové části před postřikem dělicím prostředkem SL-60009.

Obr. 60 Termo snímek pevné poloviny s detailním záběrem na tvarové části po postřiku dělicím prostředkem SL-60009.

Obr. 61 Termo snímek pohyblivé poloviny s detailním záběrem na tvarové části po postřiku dělicím prostředkem SL-60009.

Seznam rovnic

Seznam tabulek

Seznam příloh

Příloha č. 1

TECHNOLOGICKÁ KARTA ODLITKU

KOVOLIT

Číslo odlitku včetně provedení / Index obnovy	1T04204P01 / 0
Číslo výkresu odlitku:	
Index změny:	0
Ks ve formě	2
Materiál	ADC 12

RTG	Chem. slož.
ANO	ANO
Dle platného PK	Dle platného PK

Stroj / pozice	Ø pinicí komory / poloha / č. komory
B - 1050 / 7	90 / -- / --

Informativní náčrt

Striko	Teplota taveniny	Typ korýtka	Dávka orientační	Předčasné dávkování
	675 ± 10 [°C]	ocelové	~ 3,1 [kg]	–
		Pasta	Ø stoupací trubice	Čas doběhu
		VUK-TOP	24 [mm]	0 ± 0 [s]

Aktivní délka komory	Délka nástavce táhla	Celková délka táhla	Výška tablety
566 ± 2 [mm]	70 ± 1 [mm]	1268 ± 2 [mm]	23 ± 5 [mm]

Plocha odlitku v dělicí rovině	Zálitky
555 [cm²]	Ne

Doba tuhnutí + dotlak	Doba cyklu	Hmotnost formy	Zdvih vyhazovačů
13,5 ± 1 [s]	55 ± 2 [s]	~ 4 100 [kg]	30 ± 3 [mm]

Temperace:		Teplota [°C]	
Úsek	okruh	Olej	Vodní ohřev
Pevná pol. #	A:	180 ± 10	150 ± 10
	B:	180 ± 10	150 ± 10
	C:	-- ± --	-- ± --
	D:	-- ± --	-- ± --
Pojízdná pol. #	A:	180 ± 10	-- ± --
	B:	180 ± 10	-- ± --
	C:	-- ± --	-- ± --
	D:	-- ± --	-- ± --
Licí komora		-- ± --	150 ± 10

Dle ČSN 42 1431

Provedení odlitku	H	
Průměrná hmotnost odlitku	695	[g]
Hmotnost odlitku od nařiznutí	840	[g]
Surová hmotnost odlitku	2 945	[g]
Norma ks / 7,5 hod	866	
Norma ks / 11 hod	1270	
Nm / 100 ks	51,98	

Program licího stroje

4204

Parametry stroje

	Pohyb lis. pístu	[mm]	[m/s]
1. Fáze -- předplňovací	1. rychlost	140 ± 10	0,3 ± 0,1
	2. rychlost	370 ± 10	0,3 ± 0,1
	3. rychlost	410 ± 10	0,6 ± 0,2
2. Fáze -- plnící	4. rychlost	430 ± 10	3,3 ± 0,3
	Brzda	540 ± 5	2,0 ± 0,2

Přepnutí dotlaku			Dotlak - 3 fáze	
--			[bar]	[s]
Dráha	430 ± 10 [mm]	1	350 ± 30	0 ± 0
Rychlost	999 ± 0 [%]	2	350 ± 30	0,04 ± 0,01
Tlak	300 ± 10 [bar]	3	920 ± 30	0,08 ± 0,02
Tlak dusíku v akumulátoru (nastavení)			Tlak dusíku v multiplikátoru (nastavení)	
190 ± 0 [bar]			140 ± 0 [bar]	

	Komora		Forma		Poznámka
	Typ	Dávka	Typ	Poměr	
Mazadlo		0,4 ± 0,1 [s]	Henkel L-CA CP 798	1,5 ± 0,1 [%]	Grafitová pasta
		0,4 ± 0,1 [s]	Chemtrend SL 1697S	1,5 ± 0,1 [%]	Antiletovací pasta
	X	-- ± -- [s]		1,5 ± 0,1 [%]	

	Typ	Program č.			Poznámky
Ostřik	robot	4204U	Rychlost 95 ± 3 [%]	Hlava 4204	
Vyjímání	robot	4204	Rychlost robota 100 ± 0 [%]	Doba zachlazení ve vaně 8 ± 2 [s]	
Vakuum	Start vakua [mm]	Zpoždění odsávání [s]	Doba odsávání [s]		
	Min. hodnota vakua [mbar]	Zpoždění vyfukování [s]	Doba vyfukování [s]		
Squeeze	Zpoždění zajetí -- ± -- [s]	Doba trvání -- ± -- [s]	Zpoždění vyjetí -- ± -- [s]		–